



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

ENERGY INSTITUTE

**ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY**

ENERGY USE OF BIOMASS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Petra Vavříková

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Marek Baláš, Ph.D.

BRNO 2016



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Studentka: **Petra Vavříková**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Marek Baláš, Ph.D.**  
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Energetické využití biomasy**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

- 1 - Rešerše druhů biomasy vhodných pro energetické zpracování.
- 2 - Rešerše technologií na využití biomasy se zaměřením na technologie pro výrobu elektrické energie.
- 3 - Vytvoření přehledu průmyslových aplikací těchto technologií.

#### **Cíle bakalářské práce:**

Cílem bakalářské práce je posouzení možností využití biomasy pro výrobu elektrické energie.

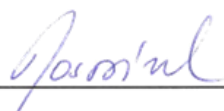
#### **Seznam literatury:**

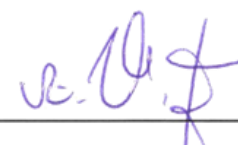
- Baláš, M.: Kotle a výměníky tepla, skripta VUT, Brno 2013, druhé vydání, ISBN 978-80-214-4770-7
- Jandačka, J. a kol.: Biomasa ako zdroj energie. Žilina 2008, ISBN 978-80-969161-3-9
- Jandačka, J., Mikulík, M.: Technologie pre zvyšovanie energetickeho potencialu biomasy. TU Žilina 2007, ISBN 978-80-969595-4-9
- Quaschninh Volker: Obnovitelné zdroje energií. Praha, Grada 2010, ISBN: 978-80-247-3250-3
- Malat'ák, J., Vaculík, P.: Biomasa pro výrobu energie. ČZU v Praze, 2008, ISBN 978-80-213-1810-6

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 30. 11. 2015



  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan

## **ABSTRAKT**

Cílem bakalářské práce je rešeršní studie o využití biomasy v energetickém průmyslu se zaměřením na výrobu elektrické energie. Zabývá se především vlastnostmi biomasy, technologiemi pro zpracování biomasy a aplikacemi těchto technologií v České republice. V první části je popsána definice biomasy a její rozdělení. Další část se zabývá vlastnostmi biomasy z energetického hlediska. Následuje seznámení se s kogenerační výrobou elektrické a tepelné energie. Poté jsou v práci rozebrány jednotlivé technologie využívané při výrobě elektřiny. Poslední část se věnuje teplárnám, elektrárnám a bioplynovým stanicím zpracovávajících biomasu a zmapování těchto konkrétních celků v České republice.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Biomasa, spalování, zplyňování, anaerobní fermentace, pyrolýza, kogenerace, bioplyn, bioplynové stanice, teplárny

## **ABSTRACT**

The objective of this bachelor's thesis is a research study of biomass use in energy industry with main focus on electric energy production. This thesis primarily concerns with biomass properties, biomass processing technologies and the application of such technologies in the Czech Republic. The first part of this work consists of biomass definition and its division. The next part deals with biomass energetic properties and following is a familiarization with cogeneration (the combined use of heat and power to create electricity). Furthermore this thesis analyses individual technologies used in electricity production. The last part focuses on heating plants, power stations and biogas plants, which use biomass and on charting these specific units in the Czech Republic.

## **KEYWORDS**

Biomass, combustion, gasification, anaerobic fermentation, pyrolysis, cogeneration, biogas, biogas station, heating plants

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

VAVŘÍKOVÁ, P. *Energetické využití biomasy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Baláš, Ph.D..

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Energetické využití biomasy vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

-----  
Datum

-----  
Petra Vavříková

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych ráda poděkovala Ing. Marku Balášovi, Ph.D. za cenné odborné rady a vedení mé bakalářské práce.



## OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>1 BIOMASA OBECNĚ.....</b>	<b>11</b>
1.1 DEFINICE BIOMASY.....	11
1.2 VYUŽITÍ BIOMASY .....	11
<b>2 DRUHY BIOMASY A JEJÍ VLASTNOSTI .....</b>	<b>13</b>
2.1 ROZDĚLENÍ BIOMASY .....	13
2.2 VLASTNOSTI BIOMASY.....	13
2.2.1 Vlhkost biomasy .....	14
2.2.2 Výhřevnost.....	14
2.2.3 Složení biomasy.....	16
2.2.4 Obsah popela .....	17
<b>3 KOGENERACE .....</b>	<b>18</b>
3.1 JEDNOTKY S VNĚJŠÍM SPALOVÁNÍM.....	18
3.2 JEDNOTKY S VNITŘNÍM SPALOVÁNÍM .....	20
<b>4 TECHNOLOGIE PRO VYUŽITÍ BIOMASY .....</b>	<b>23</b>
4.1 SPALOVÁNÍ.....	23
4.1.1 Principy spalování .....	24
4.2 ZPLYŇOVÁNÍ .....	25
4.2.1 Technologie zplyňování.....	27
4.3 PYROLÝZA.....	29
4.4 ANAEROBNÍ FERMENTACE .....	30
4.4.1 Technologie anaerobní fermentace.....	32
4.4.2 Bioplynové stanice .....	32
<b>5 APLIKACE TECHNOLOGIÍ V ČESKÉ REPUBLICE.....</b>	<b>34</b>
5.1 EKONOMIKA .....	35
5.2 ELEKTRÁRNY A TEPLÁRNY NA BIOMASU .....	35
5.3 BIOPLYNOVÉ STANICE .....	38
5.3.1 Zemědělské BPS.....	39
5.3.2 Průmyslové BPS.....	40
5.3.3 Komunální BPS.....	41
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>43</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>44</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>49</b>

## ÚVOD

Zásobování energiemi je problém, který ovlivňuje celou naši společnost. S rostoucí populací je spotřeba energií stále vyšší, tedy poptávka po energii roste.

Pro výrobu elektrické a tepelné energie jsou v současnosti nejvíce využívána fosilní paliva (hnědé uhlí, zemní plyn, ropa). Ta se pro získání elektřiny a tepla spalují. Stálíci je v tomto oboru také jaderná energetika. Velkým problémem těchto paliv je však jejich vyčerpatelnost a neblahý dopad na životní prostředí. Právě spalování fosilních paliv přispívá ke skleníkovému efektu. Proto jsou hledány a využívány nové alternativní způsoby k získání energie. Jsou to obnovitelné zdroje, které mají velký energetický potenciál. Za obnovitelný zdroj je považována větrná energie, energie slunečního záření, vodní energie, geotermální energie a energie obsažená v biomase.

Biomasa je nejdéle využívanou formou obnovitelné energie. Z ekologického hlediska je mnohem přívětivější než fosilní paliva, protože u spalování biomasy lze hovořit o tzv. nulové bilanci CO<sub>2</sub>. Při tomto jevu se do ovzduší uvolňuje jen takové množství CO<sub>2</sub>, jaké bylo do hmoty rostliny akumulováno fotosyntézou v období jeho růstu. Také vyprodukované emise jsou v případě biomasy nižší.

Problematika týkající se využití biomasy jako energetického zdroje je detailněji rozebrána v hlavní části práce.

## 1 BIOMASA OBECNĚ

Biomasu lze považovat za nejdéle využívaný zdroj energie. Oheň, tedy energii hořícího dřeva, objevil již Homo erectus. Až do 18. století byla biomasa nejdůležitějším energetickým zdrojem [1]. S rozvojem průmyslu se však do popředí dostala fosilní paliva. Jelikož je biomasa řazena mezi obnovitelné zdroje energie, je jí v současnosti věnováno více pozornosti a začíná fosilní paliva opět v určité míře nahrazovat [1].

### 1.1 Definice biomasy

Biomasa je definována jako hmota organického původu. Tímto pojmem se označuje souhrn živých i odumřelých organismů, rostlinná biomasa pěstovaná ve vodě i v půdě, chov živočichů, organické produkty a vedlejší organické odpady. Je buď záměrně získávána výrobní činností, nebo se jedná o využití odpadů z potravinářské, lesní a zemědělské výroby, z komunálního hospodářství [1] [2].

V základě je biomasa rozdělena do dvou hlavních skupin, a to na biomasu živočišného původu (tzv. zoomasa) a rostlinného původu, která se dále dělí na dendromasu (dřevinná biomasa) a fytomasu (jednoleté rostliny) [3].

Biomasa se využívá v různých odvětvích, která jsou blíže popsána v následující kapitole.

### 1.2 Využití biomasy

Následující informace jsou čerpány ze zdroje [4].

#### **Potrava**

Jedním z nejstarších a nejdůležitějších využití biomasy je její použití jako potravy pro lidi a zvířata.

#### **Surovina pro průmysl**

I v průmyslu lze množství elektřiny, ropy a plynu nahradit biomasou. Například olej transformovaný na mastnou kyselinu se používá jako katalyzátor v chemickém průmyslu, pro výrobu plastů, v kosmetice. Rostlinná vlákna slouží jako tepelné izolace. V průmyslu existuje řada dalších využití biomasy.

#### **Výroba tepla**

Nejvýznamnějším využitím biomasy je výroba tepla pro vytápění a ohřev vody. Teplo se z biomasy získává nejjednodušším možným způsobem, spalováním, a to s účinností až 90 %. Při spalování biomasy dochází k procesu hoření. Jedná se o složitý soubor chemických reakcí probíhajících za vysokých teplot a za přítomnosti vzdušného kyslíku. V ideálním případě je výsledkem hoření oxid uhličitý a voda. Při nedokonalém spalování vznikají další produkty, které jsou nežádoucí, například toxické látky jako oxidy dusíku, saze apod.

#### **Zdroj energie pro dopravní prostředky**

Tento druh využití biomasy je žádoucí nejen z hlediska energetického, ale i ekologického, a to díky nahrazení části ropy lokálně vypěstovanou biomasou. Další příznivou skutečností je snížení závislosti na ropě. Získání mechanické energie pro pohon dopravních prostředků z energie biomasy probíhá postupně. Nejprve se

spálením vyrobí teplo, které se pomocí motoru (tepelného stroje) přemění na mechanickou práci.

### ***Zdroj energie pro výrobu elektřiny***

Elektrická energie se vyrábí převážně z fosilních paliv (např. uhlí). V současnosti je však snaha tato fosilní paliva částečně nahradit biomasou kvůli jejich vyčerpatelnosti. Elektrickou energii je možné z biomasy vyrobit v elektrárnách, kdy jde čistě jen o výrobu elektrické energie, nebo v teplárnách, kdy dochází ke kombinované výrobě tepla a elektrické energie, tzv. kogeneraci [4] [5]. Kogenerační výroba je upřednostňována před samostatnou výrobou elektřiny a tepla díky menším emisím v důsledku snížení spotřeby paliva až o 40 % [6].

Pro výrobu elektrické energie nejsou vhodná všechna zpracování biomasy pro získávání energie. Využívají se pouze takové metody, které jsou využitelné ve stacionárních zdrojích elektrické energie, konkrétně spalování, zplyňování a anaerobní fermentace, rychlá pyrolýza [6]. Tyto metody budou popsány v dalších částech práce.

## 2 DRUHY BIOMASY A JEJÍ VLASTNOSTI

### 2.1 Rozdělení biomasy

Dělení dle původu:

- zoomasa (živočišný původ)
- fytomasa (rostlinný původ – jednoleté rostliny)
- dendromasa (dřevinná biomasa).

Z energetického hlediska lze biomasu rozdělit do následujících skupin [2]:

- fytomasa olejnatých plodin
- fytomasa s vysokým obsahem škrobu a cukru
- fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy
- směsi organických odpadů
- organické odpady a vedlejší produkty živočišného původu.

Dle způsobu získávání [2] [3]:

- záměrně pěstovaná biomasa
  - energetické dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty, a další rychlerostoucí dřeviny)
  - olejnin (řepka olejná)
  - cukrová řepa, obilí, brambory, cukrová řepa
- odpadní biomasa
  - rostlinné zbytky ze zemědělské výroby (kukuřičná sláma, řepková sláma, odpady ze sadů, zbytky z pastevních areálů aj.)
  - odpady ze živočišné výroby (zbytky krmiv, exkrementy, hnůj, kejda, odpady z přidružených zpracovatelských kapacit)
  - komunální organické odpady (kaly z odpadních vod, organický podíl tuhých komunálních odpadů)
  - lesní odpady (dřevní hmota, kůra, větve, pařezy, kořeny po těžbě dřeva, palivové dřevo, odřezky)
  - odpady z průmyslových a potravinářských výrob (odpady z jatek, z mlékáren, z dřevařských provozoven, z konzerváren).

Dle obsahu vody [7]

- mokrá biomasa – tekuté odpady (kejda a další odpady)
- suchá biomasa (dřevo a dřevní odpady, sláma)
- speciální biomasa (olejnin, škrobové a cukernaté plodiny).

### 2.2 Vlastnosti biomasy

Využití biomasy jako paliva je určeno jejími chemickými a fyzikálními vlastnostmi [8]. Kvalita paliv z biomasy, stejně jako u běžných druhů paliv, je posuzována na základě těchto vlastností: obsah vody (w), chemické složení hořlaviny paliva, obsah popela (A), obsah prchavé hořlaviny, výhřevnost paliva [9]. Z těchto vlastností je třeba vycházet při konstrukci spalovacích zařízení [8] [9].

### 2.2.1 Vlhkost biomasy

Vlhkost, podíl vody, je charakteristickou vlastností biomasy, podle které se řídí výběr spalovacího zdroje. Tato důležitá vlastnost určuje kvalitu spalovacího procesu [10]. Obsah vody v biomase je poměrně vysoký a proměnný. Voda snižuje nejen využitelné teplo biomasy, ale i hmotnost biomasy (spalné teplo). Při jejím odpaření se snižuje výhřevnost. Obsah vody paliva z biomasy snižuje účinnost spalování, pro jeho kvalitu je tedy využíváno co nejsušší biomasy [9]. Při stanovení obsahu vody v palivu je třeba rozlišovat, zda se jedná o vyjádření obsahu vody v dřevozpracujícím průmyslu, nebo v energetice [8].

- Dřevozpracující průmysl

V dřevozpracujícím průmyslu se obsah vody vyjadřuje k suchému vzorku

$$w_d = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 [\%] \quad (2.1)$$

$m_1$  ... hmotnost vzorku surové dřevní hmoty [kg]

$m_2$  ... hmotnost vzorku po vysušení [kg]

- Energetika

V energetice se vztahuje obsah vody k původnímu vzorku

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 [\%] \quad (2.2)$$

Tab. 2.1 Podíl mezi energetickou a dřevařskou vlhkostí [2]

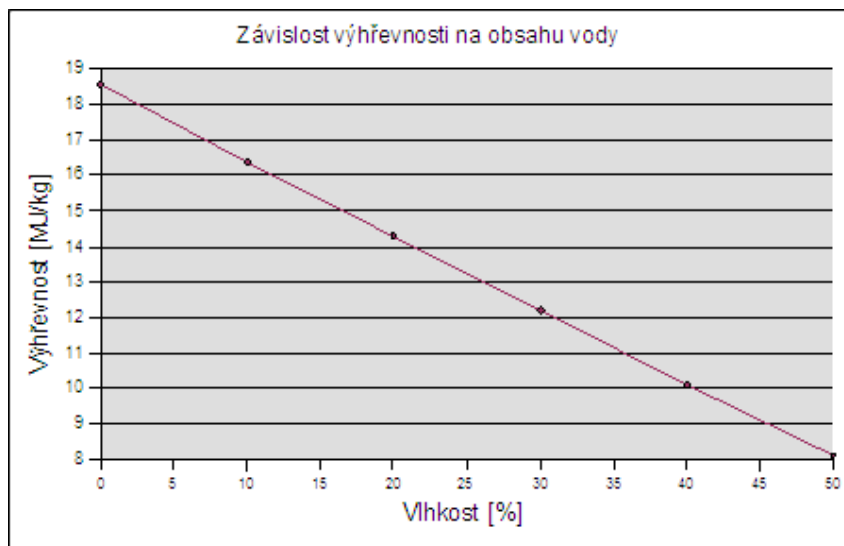
vlhkost $w$ [%]	dřevařská vlhkost $w_d$ [%]
0	0
10	11
20	25
30	43
40	67
50	100
60	150
70	230
80	400

### 2.2.2 Výhřevnost

Z energetického hlediska je výhřevnost a spalné teplo nejdůležitější vlastností biomasy. **Výhřevnost  $Q_i$  [MJ·kg<sup>-1</sup>]** je definována jako teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva na CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, jestliže H<sub>2</sub>O vzniklá spalováním zůstává v plynném stavu a odchází

ve spalínách. **Spalné teplo  $Q_s$**  [ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ] je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva na  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$  s tím, že veškerá vodní pára ve spalínách zkondenzuje do kapalné podoby [9].

Výhřevnost paliva je úzce spojena s jeho vlhkostí. Výhřevnost je ovlivněna obsahem vody, snížením obsahu sušiny a spotřebou energie na odpaření [8] [2]. Závislost vlhkosti a výhřevnosti paliva zobrazuje obr. 2.1.



Obr. 2.1 Závislost výhřevnosti na vlhkosti [11]

Výhřevnost paliva z biomasy se určí ze vztahu [8]:

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (w + 9 \cdot H_2) \quad [\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}] \quad (2.3)$$

$Q_i$  ... výhřevnost paliva [ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]

$Q_s$  ... spalné teplo paliva [ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]

$w$  ... energetická vlhkost paliva [%]

$H_2$  ... obsah vodíku v palivu

Biomasa obsahuje nejméně 10 % vody, u dřeva dosahuje hodnota vlhkosti v průměru 30 %, sláma v balících uskladněných v halových skladech nebo v zakrytých stozích 14 až 16 %. Při hoření dochází k odpařování této vody a tím pádem se snižuje výhřevnost sušiny biomasy. Výhřevnost je také snižována činností mikroorganismů, plísní a hub a také působením času.

Výhřevnost se u různých druhů dřevin při dané vlhkosti téměř shoduje [9]. U listnatých stromů dosahuje  $18 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ , u jehličnanů  $19 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  [2]. Poměrně vysokou výhřevností se vyznačují také stébelniny jako suchá sláma z obilnin, suché traviny, a to  $16,5$  až  $17,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

### 2.2.3 Složení biomasy

Tuhá paliva se skládají z hořlaviny, obsahu popela a obsahu vody. Hořlavina je ta část paliva, která uvolňuje teplo, tj. chemicky vázaná energie v palivu. U hořlaviny se rozlišují dvě části. Jedna část se skládá z uhlíku C, vodíku H<sub>2</sub> a síry S. Jsou to tzv. aktivní látky hořlaviny, při jejichž oxidaci vzniká teplo. Druhou část hořlaviny představují pasivní prvky, které jsou vázané na organickou hmotu. Je to kyslík O<sub>2</sub> a dusík N. Nežádoucí podíl paliva představuje popel a voda [2].

Všeobecné složení paliva je vyjádřeno rovnicí (4):

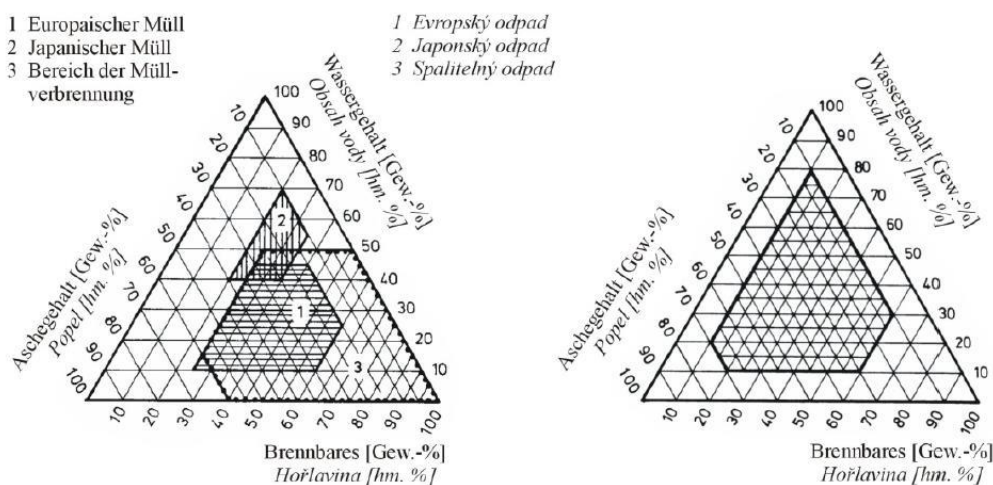
$$h + A + w = 1 \quad [\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (2.4)$$

$h$  ... hořlavina

$A$  ... obsah popela

$w$  ... obsah vody

Obr. 2.2, na kterém je vykreslen spalovací trojúhelník, názorně zobrazuje souvislost mezi těmito třemi složkami. Měřítka, vždy v hmotových procentech, tvoří rovnoramenný trojúhelník [12].



Obr. 2.2 Spalovací trojúhelník [12]

### Chemické složení

Nejčtenějšími prvky z hlediska chemického složení hořlaviny paliva jsou C, H<sub>2</sub> a O<sub>2</sub>. Biomasa kromě základních prvků obsahuje i prvky, které mají značný vliv na produkci škodlivých látek při spalování. Mezi tyto prvky patří například S, Cl, N<sub>2</sub>. Jestliže se tyto prvky ve složení objevují ve zvýšeném množství, dochází k zvýšení obsahu škodlivých látek ve spalínách [8].



### 2.2.4 Obsah popela

Popel vzniká při spalování v důsledku reakce minerálních látek přítomných v biomase, nazývaných popeloviny, s kyslíkem [8] [10]. Při spalování dochází teplem k rozkladu popelovin a těkavé podíly přecházejí do spalin. Popel společně s vlhkostí představují nežádoucí složky paliva [10].

Popel způsobuje struskování, zanášení a spékání v ohništi [9]. Při nižší teplotě tavení popelovin než je teplota hoření, dochází k zalepování roštu ohniště, čímž dochází k snížení funkčnosti kotle. V důsledku nedokonalého prohoření paliva se snižuje účinnost kotle a roste obsah škodlivin v odcházejících spalinách. Nánosy popela na stěnách topeniště difundují do vyzdívky, která se postupně po vrstvách odlupuje [10].

Dle teploty tavení se popel rozděluje na [8]:

- lehce tavitelné popely (teplota tavení popela 1 000 až 1 200 °C)
- středně tavitelné popely (teplota tavení popela 1 200 až 1 450 °C)
- těžce tavitelné popely (teplota tavení > 1 450 °C).

Obsah popela v palivu se vyjadřuje podle vztahu [8]:

$$A = \frac{m_p}{m_d} [-] \quad (2.5)$$

$m_p$  ... hmotnost popela [g]

$m_d$  ... hmotnost absolutně suchého vzorku paliva [g]

Obecně je množství popela v biomase oproti ostatním druhům paliv velmi nízký [9]. Například ve dřevě se obsah popela pohybuje mezi 0,6 a 1,6%, kdežto u černého uhlí rozmezí dosahuje 20 až 30 % [10].

### 3 KOGENERACE

Kogenerace je kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. Část tepelné energie může být využito k odnímání tepla jinému médiu, tedy k chlazení, pak se jedná o trigeneraci [13]. Společná výroba elektřiny a tepla je výhodnější než jejich separovaná výroba, neboť vede ke zvýšení účinnosti využití paliva. Z ekologického hlediska je vyprodukováno méně emisí  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ , tuhých částic a  $\text{CO}_2$  [14].

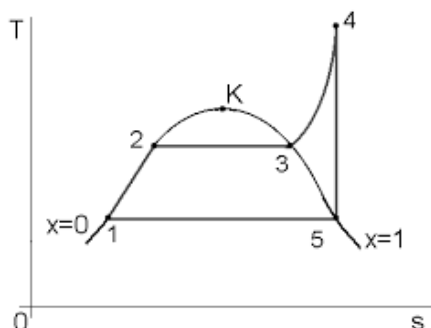
Při kogeneraci se využívá těchto technologií:

- jednotky s vnějším spalováním
  - parní turbína
  - plynová turbína
  - organický Rankinův cyklus (ORC)
  - Stirlingův motor
  - parní motor
- jednotky s vnitřním spalováním
  - plynové spalovací motory
- palivové články.

#### 3.1 Jednotky s vnějším spalováním

##### *Kombinovaná výroba na bázi parní turbíny*

Jedná se o nejrozšířenější způsob kogenerace nejen pro obnovitelné, ale i neobnovitelné zdroje. Tato zařízení jsou využívána ve velkých elektrárnách a teplárnách [4]. Parní turbíny využívají Rankin-Clausiovův cyklus.

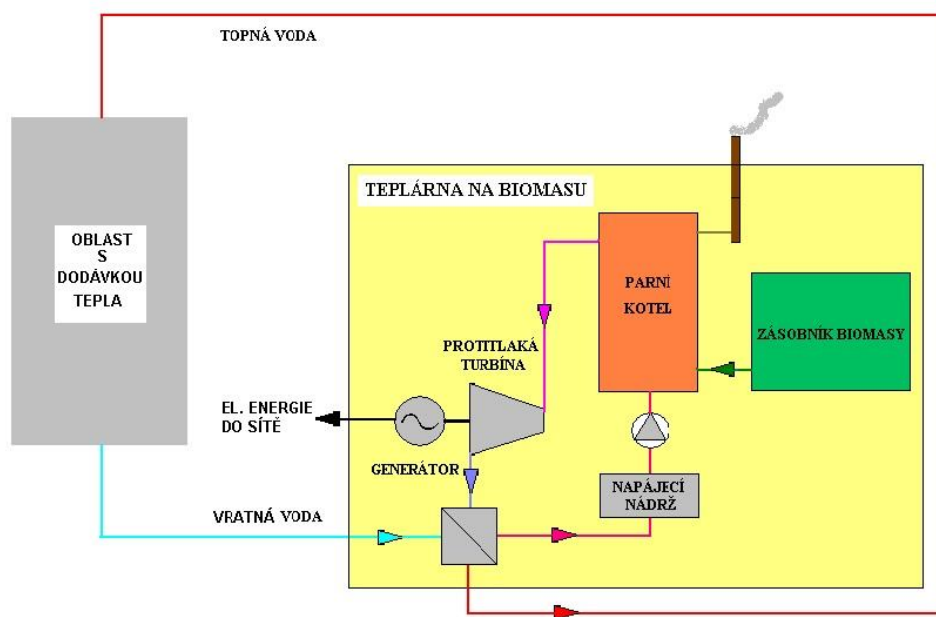


Obr. 3.1 Rankin – Clausiovův cyklus v T – s diagramu [15]

Vstupní pára vyrobená v parním kotli závisí na použité teplotě. Při nižších teplotách je možné vyrobit sytou páru, v případě použití vysokých teplot lze získat přehřátou páru. Pára se přivádí do turbíny, kde expanduje a koná práci. Turbína pohání generátor elektrické energie [13] [16]. Výstupní pára vstupuje buď do tepelného výměníku, nebo do kondenzátoru. Při vstupu do tepelného výměníku může do tepelné spotřeby vstupovat veškeré množství páry jdoucí přes turbínu, jedná se o protitlaký provoz, v druhém případě se hovoří o kondenzačním provozu [13].

Při tomto způsobu kogenerace je využíváno protitlakých a kondenzačních parních turbín. Protitlaké turbíny využívají pro dodávku tepla veškerou páru použitou pro zisk práce. Teplo je odebíráno na výstupu turbíny. U kondenzačních turbín se teplo odebírá při expanzi páry přímo z turbíny, případně na výstupu z parního generátoru.

Používané výkony se pohybují v rozmezí 1 000 kW<sub>e</sub> až 250 MW<sub>e</sub> a elektrická účinnost dosahuje 35% u velkých kondenzačních turbín a 8% u malých protitlakých turbín [13].

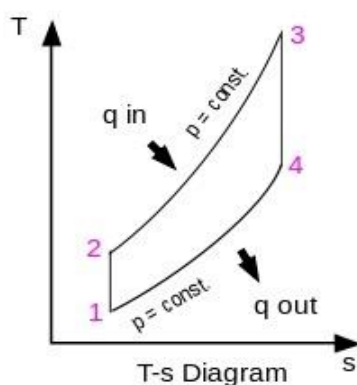


Obr. 3.2 Kogenerační jednotka s využitím parní turbíny [6]

### ***Kombinovaná výroba na bázi plynové turbíny***

Plynové turbíny pracují s Braytonovým cyklem. Pracovním médiem je vzduch, který se nejdříve stlačuje v kompresu, následně je mu ve spalovací komoře v důsledku spalování paliva dodána tepelná energie. V turbíně pak dochází k expanzi a ke vzniku práce, která je využita pro generování elektrické energie.

Elektrická účinnost dosahuje 14 až 21 %.



3.3 Braytonův cyklus v T – s diagramu [17]

***Kombinovaná výroba na bázi ORC***

Organický Rankinův cyklus má tepelný oběh stejný jako Rankin-Calusiův pro parní turbínu, jedinou odlišností je pracovní médium [13]. V kotli se při spalování biomasy nehořívá voda, jako tomu bylo u klasického procesu, ale termoolej. Ve výparníku dochází k vypařování sekundární pracovní látky, silikonového oleje. Páry jsou následně odváděny do turbíny, která pohání generátor vyrábějící elektřinu [18].

Elektrická účinnost zařízení s ORC se pohybuje v rozmezí 10 až 15% [13].

***Kombinovaná výroba na bázi Stirlingova motoru***

Stirlingův motor je pístový motor s vnějším spalováním. Tepelný oběh Stirlingova motoru lze připodobnit Carnotově cyklu. Uvolněná tepelná energie při spalování v parním kotli se předává pracovní látce. Ta je cyklicky stlačována ve studeném válci, neboli kompresním prostoru, a expanduje v horkém válci, tzv. expanzním prostoru [13].

***Kombinovaná výroba na bázi parního motoru***

Parní motory jsou rozděleny na pístové a rotační. U pístových motorů je princip chodu stejný jako u Stirlingova motoru. U rotačního motoru se v kotli vyrobená pára odvádí do prostoru mezi statorem a rotorem. Dochází k expanzi a uvolnění energie. Tato energie slouží k uvedení rotoru do pohybu. Rotor je spojen s generátorem, který vyrábí elektřinu [18].

Pístové motory nejsou příliš využívány, používají se k výrobě menších a středních výkonů v rozsahu 20 kW až 2,5 MW.

Rotační plynové motory jsou využívány pro výkony v rozsahu 25 kW až 2,5 MW. Vstupní tlaky páry dosahují 0,5 až 4 MPa [18].

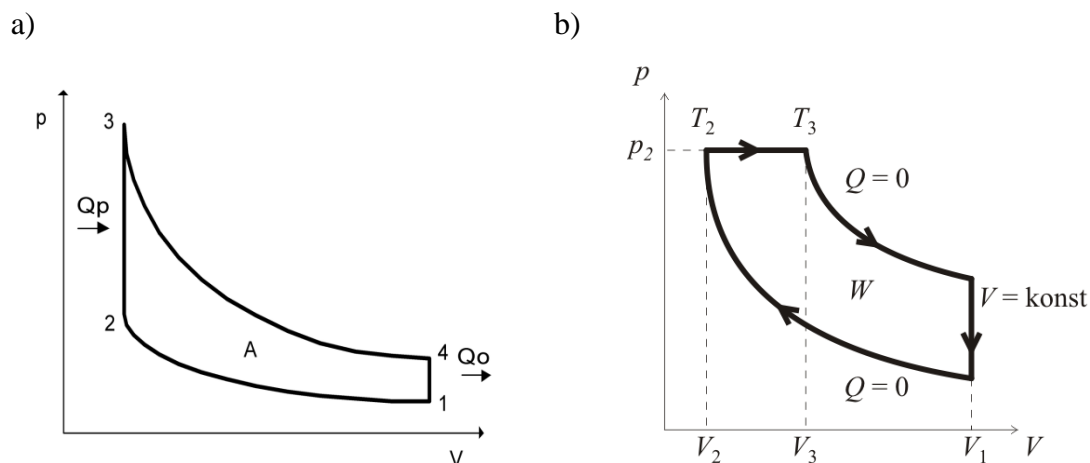
**3.2 Jednotky s vnitřním spalováním*****Kombinovaná výroba na bázi plynového spalovacího motoru***

V současnosti je nejpoužívanější technologií pro výrobu elektrické energie zplyňováním biomasy plynový motor napojený na generátor. Pro správnost činnosti a chodu motoru je nutno snížit obsah dehtů v plynu pod  $100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  a obsah pevných částic v plynu pod  $5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  [18]. Nejčastěji využívaným palivem je zemní plyn, bioplyn nebo důlní plyn [19].

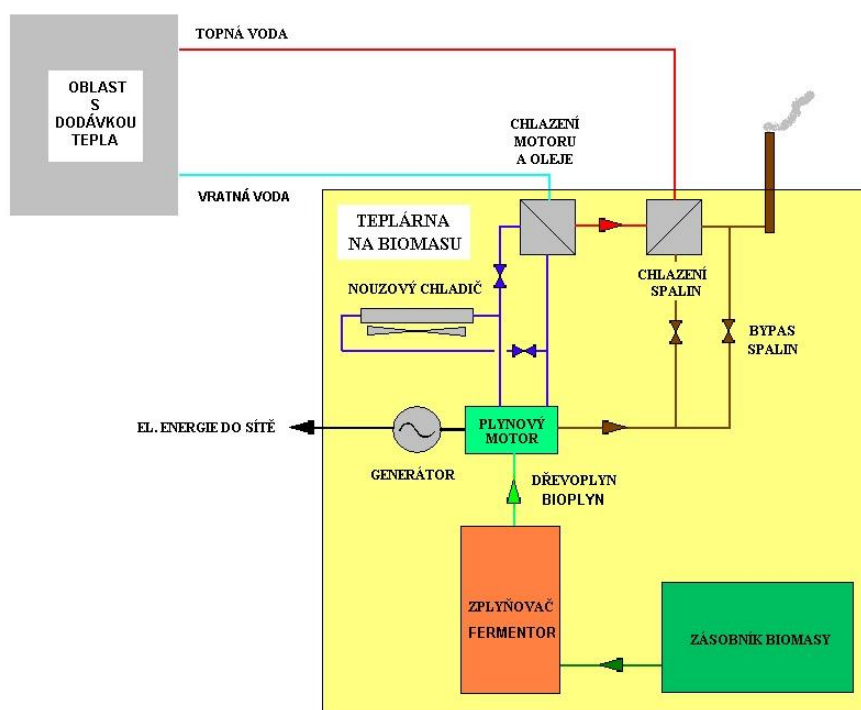
Tepelná energie se uvolňuje oxidací paliva v pracovním prostoru motoru. Podle způsobu zapalování paliva se spalovací motory dělí na zážehové a vznětové.

Zážehové motory pracují na principu Ottova tepelného oběhu, kdy je teplo do systému přiváděno za konstantního objemu. Směs vzduchu a paliva je zapálena pomocí elektrické jiskry v otevřené spalovací komoře nebo v malé komoře v hlavě válce (předzápalná komora) [13].

U vznětových motorů směs po dosažení zápalné teploty paliva vzniká samovolně. Do stlačeného vzduchu je vstřikováno palivo. Teplo je do systému dodáváno za konstantního tlaku. Vznětové motory využívají Dieslova cyklu [13].



Obr. 3.4 Ottův tepelný cyklus v pV diagramu (a), Dieselův cyklus (b) [13]



Obr. 3.5 Kogenerace s využitím plynového motoru [6]

### ***Kombinovaná výroba na bázi palivových článků***

Palivové články mění chemickou energii na elektrickou. U vysokoteplotních článků, které pracují za teplot nad 600 °C, jsou rozlišovány dva typy – palivový článek využívající jako elektrolyt roztavenou směs alkalických uhličitů a palivový článek s pevným oxidovým elektrolytem. Pro použití palivových článků je nutné vyčistit plyn na velmi vysokou úroveň.

Souhrn jednotlivých kogeneračních technologií a jejich porovnání je v následující tabulce.

Tab. 3.1 Přehled jednotlivých kogeneračních technologií vhodných pro výrobu elektrické energie [20] [18]

Technologie	Elektrická účinnost [%]	Výkon [MW <sub>e</sub> ]
Parní turbína	8 — 35	1 - 250
Plynová turbína	14 — 21	0,2 — 1,5
ORC	10 — 15	0,3 — 2
Stirlingův motor	8 — 28	0,0005 — 0,15
Parní motor	8 — 20	0,02 — 2
Spalovací motor	27 — 31	0,1 — 2
Palivové články	25 — 40	0,02 — 2

## 4 TECHNOLOGIE PRO VYUŽITÍ BIOMASY

Při přeměně biomasy na energetické využití je používáno několika technologií. Způsob získávání energie je ovlivněn fyzikálními i chemickými vlastnostmi [21] [9]. Například biomasu s vysokou hodnotou vlhkosti je vhodné zpracovat kvašením, pro nízký obsah vody je vhodné použít spalování [21].

Technologie zpracování biomasy jsou rozděleny na [21]:

- suché procesy – termochemická přeměna biomasy
  - spalování
  - zplyňování
  - pyrolýza
- mokré procesy – biochemická přeměna biomasy
  - alkoholové kvašení (aerobní fermentace)
  - metanové kvašení (anaerobní fermentace)
- chemické přeměny biomasy
  - esterifikace surových rostlinných olejů

Pro výrobu elektrické energie se používají pouze procesy spalování, zplyňování a anaerobní fermentace, rychlá pyrolýza. Tyto procesy jsou popsány v následujícím textu práce. Produkty ostatních technologií jsou využity především pro pohon vozidel [6].

### SUCHÉ PROCESY

#### 4.1 Spalování

Mezi nejstarší a nejrozšířenější energetické využití biomasy patří spalování [21]. Jedná se o fyzikálně chemický děj s uvolňováním tepla, při kterém dochází ke slučování hořlavých prvků obsažených v hořlavině paliva s kyslíkem [2]. Hořlavina se skládá z prchavé hořlaviny a fixního uhlíku. Obsah prchavé hořlaviny v biomase dosahuje od 70 do více než 80 %. [12].

Při tomto procesu se biomasa nejdříve ohřívá a suší za teplot okolo 100 °C, čímž se odpařuje vlhkost. Poté se uvolňuje prchavá hořlavina při zahřátí paliva na cca 160 °C, která následně vzněcuje a hoří. Nakonec dochází k hoření pevných složek paliva (uhlíku) a dohořívání. Pro proces je důležité, aby bylo zajištěno dokonalé vyhoření prchavé hořlaviny. K tomu je zapotřebí dostatečně vysoká spalovací teplota, dostatek času pro průběh spalovací reakce a promísení hořlavých plynů se spalovacím vzduchem. Vzduch je do procesu dodáván ve třech fázích. Primární vzduch, jehož obsah obvykle činí 40 % celkového množství vzduchu, je přiváděn při zapalování prchavé hořlaviny. Sekundární vzduch, který zajišťuje dostatek kyslíku, je dodáván při samotném hoření prchavé hořlaviny. Sekundární vzduch může být v některých případech dodáván ve dvou fázích, pak se označuje jako terciální [12] [21] [18].

Za přítomnosti dostatečného množství kyslíku shoří uhlík dle rovnice [22]:



Tato reakce ve skutečnosti probíhá ve dvou fázích. První je heterogenní reakce zplyňování uhlíku (4.2), druhou homogenní reakce spalování oxidu uhelnatého (4.3).



Následující rovnice popisují reakce při spalování prchavé hořlaviny [23].



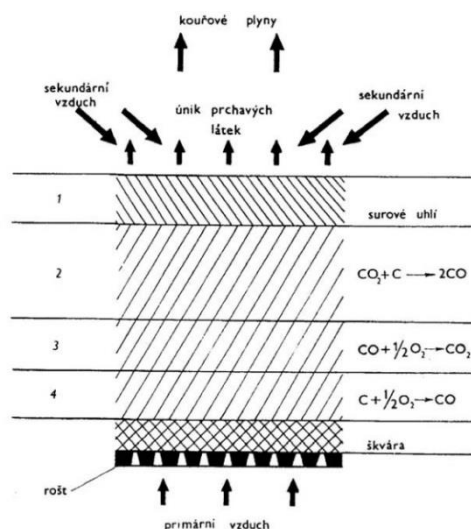
### 4.1.1 Principy spalování

Efektivní spalování biomasy je možné pouze ve speciálně konstruovaných kotlích [21]. Při navrhování kotle na biomasu je nutné vycházet z jejích specifických vlastností, především z vysokého podílu prchavé hořlaviny, nízké teploty měknutí popele, malého podílu popelovin, přítomnosti síry a alkálií v palivu [3]

Spalování biomasy v kotlích je možné realizovat dvěma způsoby - spalováním na roštu a fluidním spalováním [21].

#### *Spalování na roštu*

V roštových kotlích lze spalovat téměř veškeré druhy biomasy. Nejčastější surovinou pro spalování je dřevo, dále štěpka, pelety, obiloviny nebo dřevní odpad [23]. Roštové ohniště musí zajišťovat funkci přívodu paliva na rošt, stejně jako přívod vzduchu do ohniště. Palivo musí být udržováno ve vrstvě požadované tloušťky a prodyšnosti při co nejmenším propadu a úletu zrn paliva. Po spálení musí být shromážděny a odstraněny tuhé zbytky (škvára) a plynné zplodiny hoření (kouřové plyny) z ohniště. Spalování probíhá ve dvou fázích a to ve vrstvě na roštu a v prostoru nad vrstvou paliva [23] [24].



Obr. 4.1 Spalování na roštu [24]

#### *Spalování ve fluidní vrstvě*

Palivo je spalováno ve fluidní vrstvě tvořené inertním materiálem. Je rozemleto na prach a udržováno ve fluidním stavu prouděním vzduchu. Proudící částice se chovají



jako kapalina. Fluidní kotle jsou podle fluidní vrstvy rozděleny na cirkulující a stacionární [23].

Fluidní kotle se stacionární fluidní vrstvou mají zřetelnou hladinu fluidní vrstvy na rozdíl od fluidních kotlů s cirkulující fluidní vrstvou. U kotlů s cirkulující vrstvou vrstva expanduje do prostoru ohniště a částice paliva cirkulují mezi spalovací komorou a cyklonem, ze kterého jsou vráceny zpět do fluidního ohniště [23].

## 4.2 Zplyňování

Zplyňování je termochemický proces, při kterém dochází k přeměně uhlíkového materiálu na energetický plyn při vysokých teplotách za pomoci zplyňovacích médií. Ke zplyňování dochází v zplyňovacích generátorech. Nejčastěji se k spalování používá dřevo ve formě pilin a štěpky. Produktem je hořlavý plyn obsahující výhřevné složky ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  a další minoritní sloučeniny), doprovodné složky ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ) a znečišťující složky (dehet, prach a další) [21].

Zplyňování probíhá v těchto procesech [2]:

- sušení
- pyrolýza (tzv. odplynění)
- oxidace
- redukce.

Před proběhnutím chemických reakcí je nutné palivo vysušit. Za zvyšování teploty se palivo ohřívá a při dosažení teploty do  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  se odpařuje voda. Jelikož je tento proces energeticky náročný je vhodné použít palivo s vlhkostí 15 % [20].

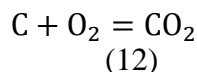
Po sušení následuje pyrolýza. Jedná se o tepelný rozklad paliva bez přístupu vzduchu. Pyrolýzní reakce probíhají při teplotách od  $300$  až  $375\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pyrolýza je složitý komplexní proces, který zahrnuje řadu reakcí. Výsledkem pyrolýzy je vznik pevných, kapalných a plyných produktů, jejichž poměr je dán chemickým složením paliva a podmínkami pyrolýzy. Pevným produktem pyrolýzy je pyrolýzní zbytek, který obsahuje 80 – 85 % tuhého uhlíku, 15 – 20 % prchavých látek a 0 – 2 % popela. Kapalnými produkty pyrolýzy jsou pyrolýzní oleje. Plyné produkty pyrolýzy obsahují oxid uhelnatý  $\text{CO}$ , oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ , metan  $\text{CH}_4$ , vodík  $\text{H}_2$  a vodní páru  $\text{H}_2\text{O}$  [20].

Třetím krokem zplyňování je oxidace, ke které dochází účinkem zplyňovacího média. Při oxidaci vzniká teplo potřebné pro endotermní reakce zplyňování. Jestliže je jako zplyňovací médium využit vzduch, případně kyslík, dochází k oxidaci pevného uhlíku a produktů pyrolýzy vyjádřené následujícími rovnicemi [25] [20]:

oxidace pevného uhlíku



úplná oxidace pevného uhlíku



oxidace oxidu uhelnatého



oxidace vodíku



oxidace metanu



Posledním procesem je redukce, při které vzniká majoritní množství spalitelných látek ve vyráběném plynu. Redukční proces je popsán těmito chemickými reakcemi:

redukce oxidu uhličitého na oxid uhelnatý



heterogenní reakce vzniku vodního plynu



heterogenní vznik metanu



Současně s heterogenními reakcemi dochází k reakcím homogenním:

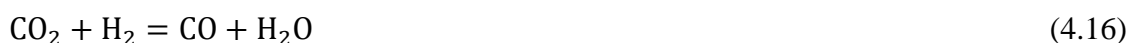
homogenní reakce vodního plynu:



homogenní vznik metanu



homogenní redukce oxidu uhličitého



Sušení, pyrolýza a redukce jsou endotermní procesy, teplo musí být dodáváno. Podle způsobu dodání tepla je rozlišováno alotermní zplyňování a autotermní zplyňování.

### ***Alotermní zplyňování***

Pokud je teplo do reaktoru přiváděno z okolního prostředí, jedná se o alotermní zplyňování neboli nepřímé zplyňování [26]. Vzniklý plyn má větší výhřevnost, jejíž hodnota dosahuje až  $14 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ . Zplyňovacím médiem je vodní pára, která je předehtřívána a tím splňuje funkci dodání tepla do systému [27].

### ***Autotermní zplyňování***

U autotermního zplyňování se teplo získává přímo v reaktoru hořením (oxidací) části paliva [26]. Při tomto typu zplyňování musí být do reaktoru přiváděn kyslík, nejčastěji se používá vzdušný kyslík. Ten zajišťuje vznik potřebných exotermních reakcí, při kterých vzniká teplo potřebné pro zplyňování. Výhřevnost plynu dosahuje 2,5 až  $8,0 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ . Menší výhřevnost je způsobena přítomností dusíku ze vzduchu ve vyprodukovaném plynu [27].

### 4.2.1 Technologie zplyňování

K zplyňování biomasy při vyšších teplotách (okolo 1 200 °C) je využíváno generátorů s pevnou vrstvou paliva. Tyto generátory jsou buď protiproudé, nebo souproudé.

K zplyňování při nižších teplotách (850 až 950 °C) dochází v generátorech s fluidní vrstvou paliva, která je stacionární nebo cirkulující [2].

#### *Zplyňovače s pevným ložem*

##### *Protiproudý zplyňovač*

Jedná se o nejjednodušší typ zplyňovače. Biomasa se dodává vrcholem reaktoru a pohybuje se směrem dolů. Přívod vzduchu je na dně zařízení a výsledný plyn opouští zařízení vrchem reaktoru [23]. Biomasa se pohybuje opačným směrem, než kterým proudí plyn. Postupně prochází přes sušící, pyrolýzní, redukční a oxidační zónu [21]. Princip protiproudého zplyňovače popisuje obr 3.4 (a).

Výhodami protiproudého zplyňovače jsou konstrukční a funkční jednoduchost, schopnost zplyňovat materiál s vysokou vlhkostí, vysoký stupeň vyhoření dřevěného uhlí, vysoká účinnost [2] [23].

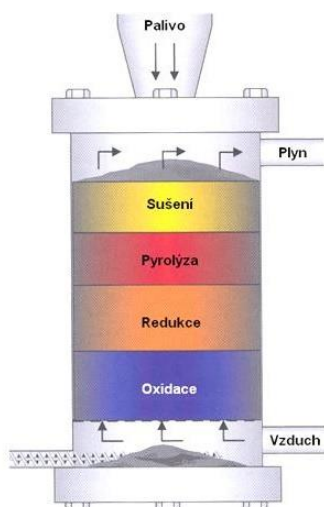
Nedostatkem této technologie je, že takto vyrobený plyn obsahuje velké množství dehtu. Pro jeho odstranění je nezbytné externí čištění [2].

##### *Souproudý zplyňovač*

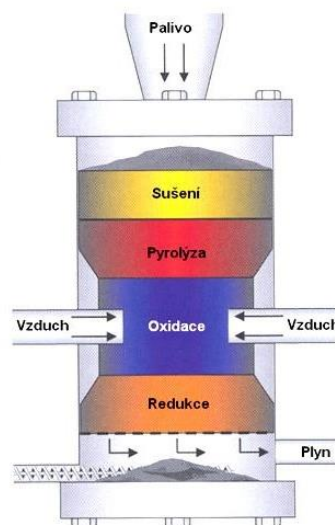
Biomasa je dodávána vrchem stejně jako vzduch. Přívody vzduchu mohou být také ze stran reaktoru. Výstup plynu je na dně, takže plyn s biomasou proudí stejným směrem [23]. U souproudého zplyňovače je redukční zóna pod oxidační zónou. Tato úprava vede k tomu, že dehet, který se tvoří v pyrolytické zóně, musí před opuštěním zplyňovače projít spalovací zónou. Tak se účastní spalování nebo se rozkládá na lehčí uhlovodíky. Vyprodukovaný plyn je tedy v ideálním případě bez dehtu [2]. Princip souproudého zplyňovače popisuje obr 3.4 (b).

Nevýhodou souproudého zplyňovače je vysoký obsah popelu a prachových částic v plynu [21].

a)



b)



Obr. 4.2 Zplyňovač protiproudý (a) a souproudý (b)

Porovnání vybraných charakteristik souproutého a protiproutého zplyňovače je uvedeno v tab 3.1.

Tab. 4.1 Některé parametry zplyňovačů s pevným ložem [21] [23]

Parametry	Typ zplyňovacího zařízení	
	Protiproutý	Souproutý
Palivo	dřevo	dřevo
Vlhkost [%]	12 (max. 25)	43 (max. 60)
Obsah popela [%]	0,5 (max. 6)	1,4 (max. 25)
Teplota generovaného plynu [°C]	700	200 — 400
Dehty [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	0,015 — 0,5	30 — 150
Účinnost (teplý plyn) [%]	85 — 90	90 — 95
Účinnost (studený plyn) [%]	65 — 75	40 — 60
Výhřevnost [ $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	4,5 — 5,0	5,0 — 6,0

### ***Zplyňovače s fluidní vrstvou paliva***

Fluidizace je stav, kdy se pevné částice chovají jako kapalina v důsledku kontaktu s plynem [21].

Princip činnosti generátorů s fluidní vrstvou je založen na probublávání vrstvy zrnitého materiálu zplyňovací látkou [20]. Fluidní vrstva je u zplyňování biomasy tvořena pískem, kterým je naplněn reaktor s porózním dnem. Tím se přivádí plyn, jehož rychlost proudění je taková, že se částice vrstvy dostávají do vznosu a celá vrstva zrnitého materiálu se chová jako kapalina [23].

Vrstva je izotermní, má rovnoměrné složení a výborně vede teplo. U fluidních zplyňovačů nelze rozlišit jednotlivé procesy jako je sušení, pyrolýza, oxidace a redukce, protože probíhají současně v důsledku velkých přenosů tepla a hmoty. Teplota zplyňování je konstantní a dosahuje 700 až 900 °C. Díky poměrně nízkým teplotám je množství dehtů minimalizováno [23].

Výhodou fluidních zplyňovačů je kompaktní konstrukce umožňující zplyňování biomasy s nízkou teplotou tavení popela a schopnost využití rozdílných paliv bez zásahu do zařízení [20]

Největší nevýhodou je vysoký podíl dehtů a unášených částic v plynu. Vysoká teplota plynu je příčinou obsahu par alkalických kovů v plynu [20].

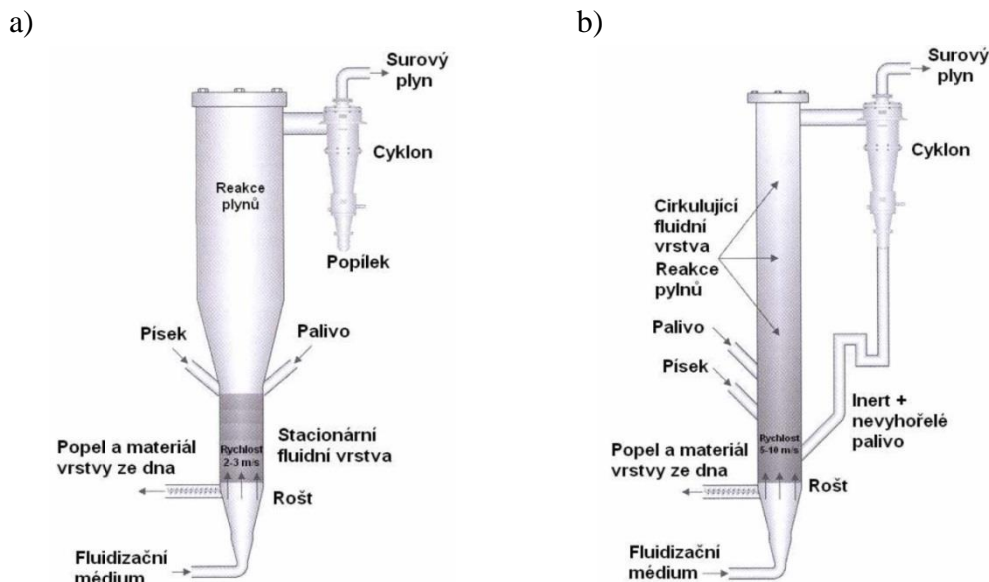
### ***Zplyňování v generátorech se stacionární fluidní vrstvou***

Zplyňovače se stacionární fluidní vrstvou mají zřetelné rozhraní mezi fluidní vrstvou a prostorem nad vrstvou. Obsah dehtů se pohybuje v rozmezí 1 až 2 %, rychlost proudění dosahuje 0,5 až 3  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  [20] [23] [21]. Schéma zplyňovače je na obrázku obr. 3.5 (a).

### ***Zplyňování v generátorech s cirkulující fluidní vrstvou***

Zplyňovače s cirkulující fluidní vrstvou nemají zřetelnou hladinu fluidní vrstvy, vrstva je omezena stropem reaktoru. Má rozdílné hodnoty hustoty, u dna je hustota nejvyšší,

u stropu nejvyšší. V reaktoru zplyňováním vzniká plyn, v cyklónu dochází k oddělení prachových částic plynu, které jsou vratným potrubím vráceny zpět do dna fluidní vrstvy [21] [23]. Rychlost proudění plynu činí 3 až 10  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Schéma zplyňovače je na obrázku obr. 3.5 (b).



Obr. 4.3 Generátor se stacionární (a) a s cirkulující (b) fluidní vrstvou [23]

Pro výrobu elektrické energie z energetického plynu se využívají tepelné stroje – plynový motor, plynová turbína, palivové články. Vhodnost využití závisí na čistotě a plynu a tlaku plynu.

Plyn vzniklý zplyňováním biomasy obsahuje velké množství znečišťujících látek. Jedná se o dehet, alkalické kovy, dusík a jiné. Obsah těchto látek v plynu je třeba snížit nebo zcela odstranit dle následné aplikace plynu. Obecně existují dva základní přístupy k čištění plynu – primární opatření a sekundární opatření. Primární opatření jsou metody uplatňující se přímo při samotném zplyňování. Jedná se o vhodnou volbu zplyňovacího média, vhodné teploty zplyňování. Sekundární opatření je zajištěno použitím návazných technologií, jako jsou cyklóny, filtry, katalytické reaktory a jiné [20].

Nejmenší důraz kladený na čistotu je při použití plynového motoru, vyšší při použití plynových turbín a palivových článků [20].

### 4.3 Pyrolýza

Pyrolýza je termický proces, kdy dochází k rozkladu organických materiálů na nízkomolekulární sloučeniny bez přístupu zplyňovacích médií, jako je kyslík  $\text{O}_2$ , oxid uhličitý  $\text{CO}_2$  a vodní pára. Pyrolýza nejčastěji probíhá za teplot 150 až 900  $^{\circ}\text{C}$ . Výsledkem pyrolýzy jsou produkty pevné (pyrolýzní uhlík – pyrolýzní koks, zuhelnatěné zbytky), kapalné (pyrolýzní olej) i plynné (směs spalitelných plynů). Poměr množství a vlastnosti produktů závisí na podmínkách procesu – na teplotě, tlaku, rychlosti ohřevu, době zadržení produktů v reakčním prostoru a konstrukci reaktoru.

Nejvhodnější formou biomasy pro pyrolýzní proces je dřevo a odpadní biomasa [2] [28] [23] [29].

Dle teploty, při které probíhá reakce rozkladu, se rozlišuje pyrolýza nízkoteplotní (teploty pod 500 °C), středněteplotní (teploty 500 až 800 °C) vysokoteplotní (teploty nad 800 °C) [23].

Pyrolýzní rozklad lze popsat třemi základními fázemi. První je nutné vstupní materiál vysušit, k čemuž je potřeba dodat poměrně velké množství tepla z důvodu silně endotermních reakcí. Následně je vysušený materiál nauhelnatěn (proces karbonizace), kdy dochází ke štěpení vysokomolekulárních organických sloučenin na nízkomolekulární a v poslední fázi se tvoří stabilní směs plynu oddělením prchavé hořlaviny od pevného materiálu [28].

### ***Rychlá pyrolýza***

Majoritním produktem rychlé pyrolýzy je bioolej. Jedná se o kapalinu s hustotou 1,2 kg·dm<sup>-3</sup> a výhřevností 16 až 19 kJ·kg<sup>-1</sup>. Nejdříve se vstupní materiál rychle ohřívá, teplota je následně udržována na konstantní hodnotě, optimálně na 500 °C. Doba působení teploty se odvíjí od množství vody v materiálu. Při maximálním přípustném obsahu vody 15 % je čas působení tepla 5 sekund. V reaktoru materiál setrvává jen krátce. Dochází v něm k zplynění a kondenzaci vzniklých pyrolýzních plynů na kapalný bioolej [30] [29].

Produkty pyrolýzy mají své energetické využití. Pyrolýzní plyny je možné použít v kogenerační jednotce pro výrobu tepla a elektřiny, biooleje jsou určeny k přímému spalování v kotlích a motorech. Pro tyto účely je však nutné biooleje dále upravit [28] [31].

## **MOKRÉ PROCESY**

### **4.4 Anaerobní fermentace**

Anaerobní fermentace neboli metanové kvašení je složitý biochemický proces skládající se z mnoha dalších dílčích na sebe navazujících procesů [2]. Jedná se o rozklad mikroorganismů biologicky rozložitelnou organickou hmotou bez přístupu vzduchu za vzniku bioplynu a fermentačního zbytku [23]. Bioplyn je směs plynů skládající se z asi dvou třetin metanu a jedné třetiny oxidu uhličitého. Ve směsi je ještě obsaženo malé množství sulfanu (H<sub>2</sub>S), amoniaku (NH<sub>3</sub>), vodíku (H<sub>2</sub>) a dalších stopových prvků [32]. Fermentační zbytek se často označuje jako digestát. Ten lze různými metodami separovat na separát obsahující většinu pevných látek s množstvím sušiny 13 % a fugát, což je tekutá frakce se sušinou do 3 % [32].

Proces anaerobní fermentace se skládá ze 4 fází:

- hydrolýza
- acidogeneze
- acetogeneze
- metanogeneze.

### Hydrolyza

První fází procesu je hydrolyza, při které jsou rozpuštěné i nerozpuštěné organické polymerní látky, polysacharidy, tuky a bílkoviny štěpeny pomocí enzymů na monomerní látky. Potřebné enzymy jsou produkovány fermentačními bakteriemi [33].

### Acidogeneze

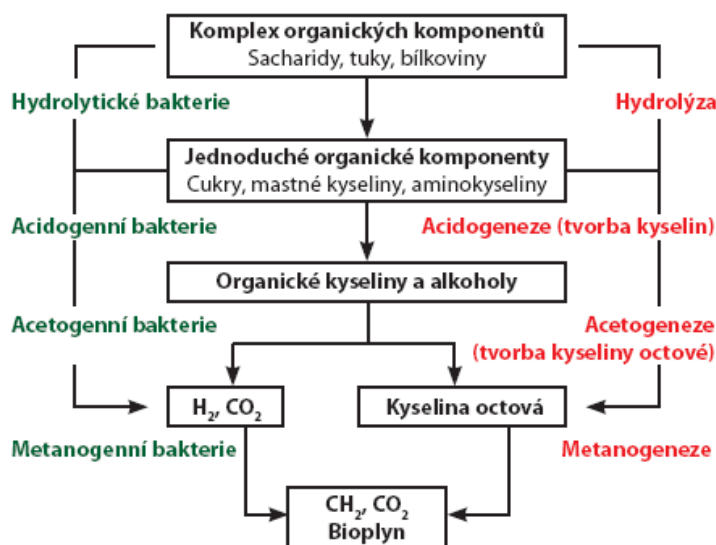
Při druhém stádiu fermentace jsou produkty hydrolyzy rozkládány na jednodušší látky, a to na mastné kyseliny, alkoholy,  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2$  [33]. Tyto látky umožňují metanogenním bakteriím vznik metanu [2].

### Acetogeneze

Acetogeneze, 3. fáze anaerobní fermentace, je zvláštní případ acidogeneze. Při tomto procesu probíhá oxidace vyšších produktů acidogeneze na kyselinu octovou  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , vodík  $\text{H}_2$  a oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ . Oxidace je umožněna působením acidogenních specializovaných kmenů bakterií [2] [33].

### Metanogeneze

Metanogenní bakterie rozkládají jednoduché látky, především kyselinu octovou na metan  $\text{CH}_4$  a oxid uhličitý. Vzniklý bioplyn má výhřevnost přibližně  $21 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ .



Obr. 4.4 Schéma průběhu anaerobní fermentace [34]

Anaerobní fermentace je ovlivněna několika faktory. Prvním je teplota ovlivňující rychlost fermentace a rovnováhu organismů. Čím je teplota vyšší, tím rychleji proces probíhá a organismy jsou citlivější na teplotní výkyvy. Dalším faktorem je hodnota pH, která by se měla pro růst bakterií udržovat v neutrální oblasti od 6,5 do 7,5 [35] [36].

Anaerobní fermentace probíhá ve vyhřívaných, neprodyšných, uzavíratelných nádržích, tzv. fermentorech, ve kterých jsou optimální podmínky pro anaerobní mikroorganismy [35].

#### 4.4.1 Technologie anaerobní fermentace

Bioplyn pro energetické využití lze vyrobit mnoha rozličnými technologiemi.

Z hlediska vlhkosti zpracovávaného materiálu jsou procesy rozděleny na [35]:

- mokré
- suché.

##### *Mokrá fermentace*

Jedná se o nejrozšířenější technologii anaerobní fermentace. Obsah sušiny fermentovaného materiálu optimálně dosahuje 8 až 12 %. Fermentory jsou vyhřívány na provozní teplotu 35 až 55 °C, substrát v nich musí být promícháván. Míchání je zajištěno mechanickými míchadly nebo kombinací mechanického míchání a injektování [37] [35].

##### *Suchá fermentace*

Suchá fermentace se používá pro zpracování materiálů s obsahem sušiny 20 až 60 %, optimální množství pro udržení stability anaerobního procesu je však 30 až 35 %. U suchých procesů je míchání nahrazeno pohybem biomasy nebo injektováním bioplynu [21] [35].

Dle dávkování biomasy jsou rozlišovány technologie [35]:

- kontinuální
- diskontinuální
- semikontinuální.

##### *Kontinuální systém*

Kontinuální technologie zpracovává materiál s velmi nízkým obsahem sušiny. Používá se pro tekuté organické odpady. Fermentační reaktor je stále naplněný, vyprazdňuje se jen příležitostně. Materiál je do reaktoru fermentoru dodáván jednou až dvakrát denně, současně se odvádí vyhnílý materiál do skladovací nádrže [2] [35] [21].

##### *Diskontinuální systém*

Doba cyklu, kdy dochází ke vzniku bioplynu, je rovna době zdržení materiálu ve fermentoru. Fermentory s diskontinuálním systémem se využívají především pro suchou fermentaci tuhých organických materiálů [2]. Proces je řízený pravidelným vstřikováním perkolátu (látky s obsahem vhodných kultur anaerobních mikroorganismů).

##### *Semikontinuální*

Doba mezi jednotlivými dávkami substrátu je kratší než doba zdržení materiálu ve fermentoru. Dávkování materiálu se uskutečňuje jedenkrát až čtyřikrát za den. Proces je jednoduše automatizovatelný a snadný na obsluhu [2] [21].

#### 4.4.2 Bioplynové stanice

Zařízení na výrobu bioplynu jsou bioplynové stanice (BPS). Ty mohou být různě modifikovány podle toho, jaký druh biomasy je zpracováván a jak je upravován před vstupem do fermentoru. Lišit se mohou také v uspořádání bioplynové koncovky [2] [21].



Struktura hlavních částí bioplynové stanice je následující [2] [21]:

### ***Zdroj organických materiálů***

Sběr a transport do příjmové nádrže by měl odpovídat nominální výkonnosti strojní linky. Ještě před uskladněním v nádrži musí být zaznamenán druh, charakter a množství biomasy.

### ***Příjem a úprava materiálu***

Před dávkováním musí být materiál upraven. Dochází k oddělení hrubých příměsí, ředění vodou tužších materiálů nebo naopak zahušťování řídkého materiálu, aktivaci mikroflóry. Materiál je předehtříván a homogenizován. Po všech potřebných úpravách je organický materiál automaticky dávkován do fermentačního reaktoru.

### ***Fermentační reaktor***

Fermentor je nejdůležitější část strojní linky, jehož správný chod zajišťuje kvalitu celého procesu. Je umístěn nad terénem nebo pod zemí. Plášť fermentačního reaktoru musí být tepelně izolován a musí vyhovět přísným požadavkům na vodotěsnost a plynotěsnost. Fermentor obsahuje zařízení pro míchání a pro ohřev, aby byly stále udržovány optimální fermentační podmínky pro správnou činnost bakterií.

Reaktor může mít provedení laguny, což je nejjednodušší zařízení, které má malou intenzitu výroby metanu  $\text{CH}_4$ . Konstrukce pravoúhlých hranolovitých reaktorů je v podobě žlabu nebo zakryté jímky. Válcové reaktory s horizontální osou válce jsou využívány pro malé objemy maximálně do  $600 \text{ m}^3$ , pro větší objemy je vhodné kvůli pevnosti použít válcové reaktory s vertikální osou válce. Dalšími využívanými typy jsou fermentory kulové, polokulové případně vejčitého tvaru.

### ***Bioplynová koncovka***

Bioplynová koncovka obsahuje systém potrubí sloužící k přepravě bioplynu, bezpečnostní zařízení proti zpětnému zahoření plynu, dmychadlo, plynojem, prvky pro regulaci a kontrolu, zařízení na čištění bioplynu a na konečné využití bioplynu, hořák zbytkového plynu.

### ***Kalová koncovka***

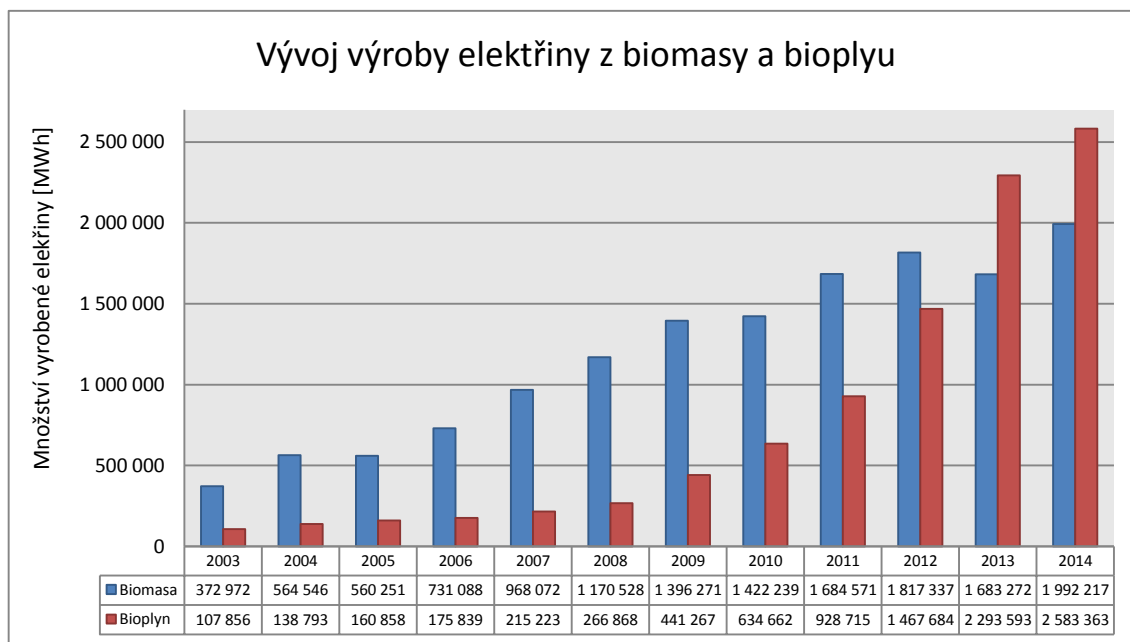
Kalová koncovka obsahuje armatury, dopravní čerpadla, homogenizátory, separační zařízení. Při odvodu fermentovaného kalu do vodního toku je potřebné chemické čištění, které ovšem zvyšuje náklady. Proto je vhodnější tento odpad používat jako hnojivo.

Bioplyn je možné použít jako plynné palivo v kogeneračních jednotkách pro výrobu elektřiny. Čištěním a komprimací lze z bioplynu vyrobit motorové palivo pro speciálně upravené automobily [35].

Oproti ostatním obnovitelným zdrojům je bioplyn z energetického hlediska výhodný kvůli jeho skladovatelnosti. Tím lze regulovat jeho využití [38].

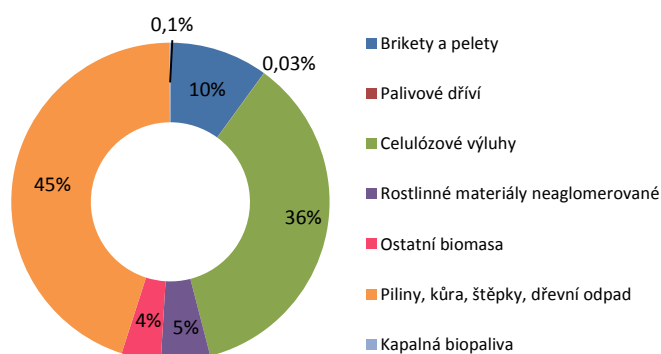
## 5 APLIKACE TECHNOLOGIÍ V ČESKÉ REPUBLICE

V České republice dochází k nárůstu množství vyrobené elektrické energie z biomasy, jak ukazuje obr. 5.1, znázorňující množství vyrobené elektřiny z biomasy a bioplynu v letech 2003 až 2014. V roce 2014 činil podíl vyrobené elektrické energie z biomasy 21,72 % ze všech obnovitelných zdrojů. V případě bioplynu je tento podíl vyšší, kdy hodnota dosahuje 28,17 % [39].



Obr. 5.1 Výroba elektrické energie 2003 – 2014 [39]

Nejaktuálnější informace o spotřebované biomase pro výrobu elektřiny zveřejněné Energetickým regulačním ústavem pochází z roku 2014. Obr. 5.2 zaznamenává procentuální zastoupení jednotlivých druhů biomasy pro výrobu elektřiny.



Obr. 5.2 Podíl kategorií biomasy na výrobě elektřiny 2014 [40]

Jak již bylo řečeno, technologie popsané v práci se využívají pro výrobu elektrické energie v teplárnách, elektrárnách a bioplynových stanicích.

## 5.1 Ekonomika

V posledních letech lze pozorovat nárůst výskytu a výstavby nových bioplynových stanic. Investice do obnovitelných zdrojů jsou v ČR mezi investory oblíbené z důvodu garantované výkupní ceny energie a zelených bonusů. Nejen bioplynové stanice, ale i ostatní zpracování biomasy jsou dotovány státem a fondy EU. V případě společného spalování biomasy s různými zdroji energie, ať už obnovitelnými či neobnovitelnými, se podpora elektřiny z biomasy uplatňuje pouze na poměrnou část elektřiny, vyrobenou v procesu vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla [60].

V roce 2015 byla pro bioplynové stanice vyhlášena podpora Operačním programem Životního prostředí (OPŽP) týkající se zvýšení podílu materiálového a energetického využití odpadů. Podpora je zaměřena na projekty bioplynových stanic, které budou nakládat na vstupu minimálně z 25 % s takovými druhy odpadů, které již nelze materiálově využívat, nebo jsou k materiálovému využití nevhodné. Výše podpory dosahuje 300 milionů Kč a činí max. 58 % způsobilých nákladů [61].

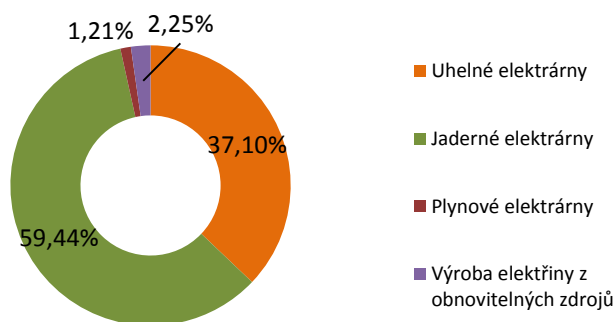
## 5.2 Elektrárny a teplárny na biomasu

V elektrárnách na biomasu je biomasa buď spoluspalována s fosilním palivem, nejčastěji s hnědým uhlím nebo je spalována samostatně. Aby spalování rostlinné biomasy bylo ekologicky efektivní a do ovzduší se uvolňovalo stejné množství (nebo aby se množství alespoň přiblížilo), které rostlina během svého růstu spotřebovala, je třeba brát v zřetel emise vznikající při sadbě, ošetřování, úpravě a dopravě plodin. Tyto emise je možné eliminovat například využitím místní biomasy [38].

Teplárny na biomasu pro výrobu tepla a elektřiny využívají kogenerace. Dle portálu Biom.cz je v České republice aktuálně v provozu 15 tepláren. Pouze tři využívají organického Rankinova cyklu (Trhové Sviny, Žatec, Třebíč), většina tepláren funguje na principu parní turbíny, tedy klasického Rankin – Clausiova cyklu.

### *Elektrárna Hodonín*

Nejdéle provozovaná a největší elektrárna na biomasu se nachází v Hodoníně, která spadá pod skupinu ČEZ. Primárně se v elektrárně spaluje hnědé uhlí, od roku 2009 je však jeden z bloků určen k spalování čisté biomasy. Blok má elektrický výkon 30 MW a denně je v něm spálena biomasa o hmotnosti 1 200 t. Jak je uvedeno v grafu, v roce 2015 se obnovitelné zdroje, mezi které je řazena i biomasa, na celkové výrobě elektřiny podílely 2,25 % [41].



Obr. 5.3 Podíl zdrojů elektřiny použitých pro výrobu elektřiny v roce 2015 skupiny ČEZ [41]

**Teplárna Plzeň**

Společnost aktuálně vyrábí téměř 30 % produkce elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Směsné spalování biomasy s uhlím je provozováno již od roku 2003, kdy je dřevní štěpka spoluspalována ve fluidním kotli K6 a peletky z biomasy v granulačních kotlích K4 a K5 [42]. Výstavba nového „zeleného“ energetického bloku spalujícího čistě biomasu v Plzeňské teplárenské a.s. začala v roce 2008, celý blok byl uveden do provozu v květnu 2010. Pro výrobu tepla a elektřiny je použit kotel K7 a turbostroji TG3 včetně tepelného výměníku ŠO4 [43]. Technické parametry nového bloku jsou zaznamenány v tab. 5.1.

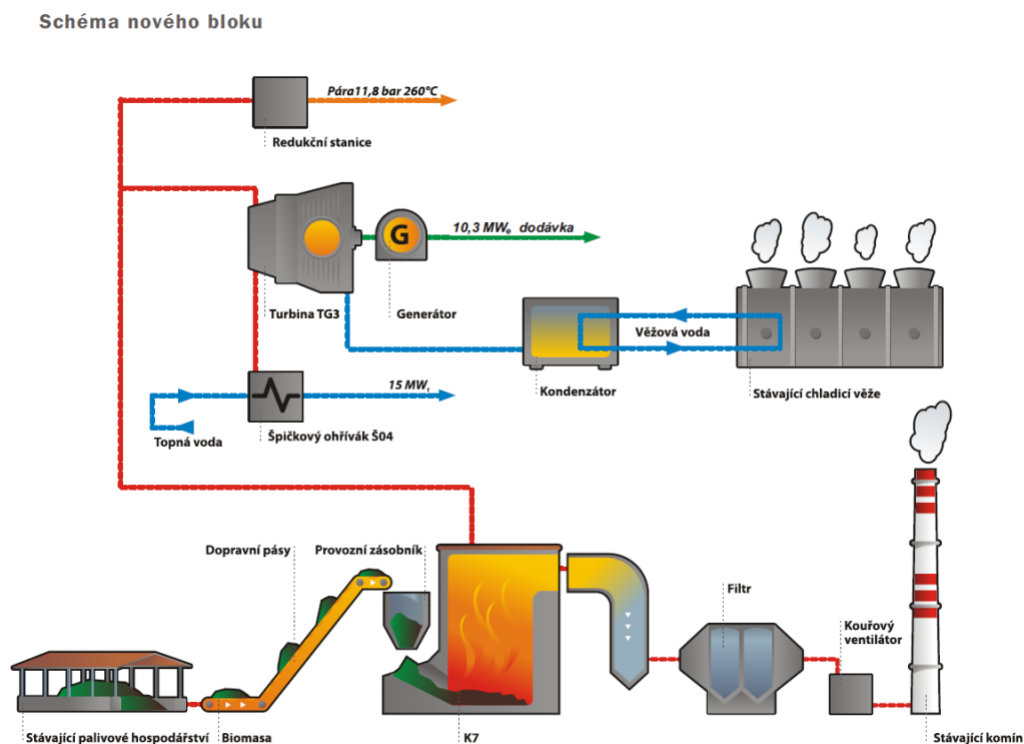
Tab. 5.1 Technické parametry pro blok spalující biomasu Teplárny Plzeň [43]

TECHNICKÉ PARAMETRY	
Kotel K7	
Jmenovitý parní výkon	50 th <sup>-1</sup>
Jmenovitý tlak páry před TG3	6,7 MPa
Jmenovitá teplota páry před TG3	485 °C
Turbostroji TG3	
Jmenovitý výkon generátoru	13 500 kW
El. výkon dodávaný do distribuční sítě	min. 12,5 MW <sub>e</sub>

Jak již bylo řečeno, palivem pro nový blok je biomasa. Spaluje se ve formě dřevní štěpky z lesní těžby a z odpadního dřeva z provozů zpracování dřeva. Dále se používá nevyužitelné dřevo a dřevní hmota z údržby veřejné i soukromé zeleně, ale také cíleně pěstované energetické plodiny a dřeviny [43].

Při spálení 115 000 tun biomasy za rok se ročně ušetří 80 000 tun uhlí. V roce 2014 se ve společnosti Plzeňská teplárenská a.s. spálilo 300 000 tun biomasy [42].

Schéma „zeleného“ bloku Plzeňské teplárenské je vykresleno na obr. 5.3.



Obr. 5.4 Schéma bloku na biomasu Teplárny Plzeň [44]

### Teplárna Trhové Sviny

V teplárně byl kotel na biomasu uveden do funkce již v roce 1999. Na základě dobrých zkušeností, snížení provozních nákladů a částečné nezávislosti na dodávkách zemního plynu byla v dubnu roku 2004 zahájena instalace dalšího kotle na spalování biomasy. Tentokrát však byla použita jednotka ORC [45].

V současnosti jsou v teplárně v provozu tyto hlavní zdroje [45]:

- tři plynové kotle o výkonu  $2,91 \text{ MW}_t$  ( $3 \cdot 2,91 \text{ MW}_t$ ),
- kotel na spalování biomasy o tepelném výkonu  $2,5 \text{ MW}_t$ ,
- termoolejový kotel na spalování biomasy o tepelném výkonu  $3,5 \text{ MW}_t$ ,
- jednotka ORC o elektrickém výkonu  $0,6 \text{ MW}_e$ ,
- dvě plynové kogenerační jednotky o celkovém elektrickém výkonu  $0,044 \text{ MW}_e$  a celkovém tepelném výkonu  $0,091 \text{ MW}_t$ .

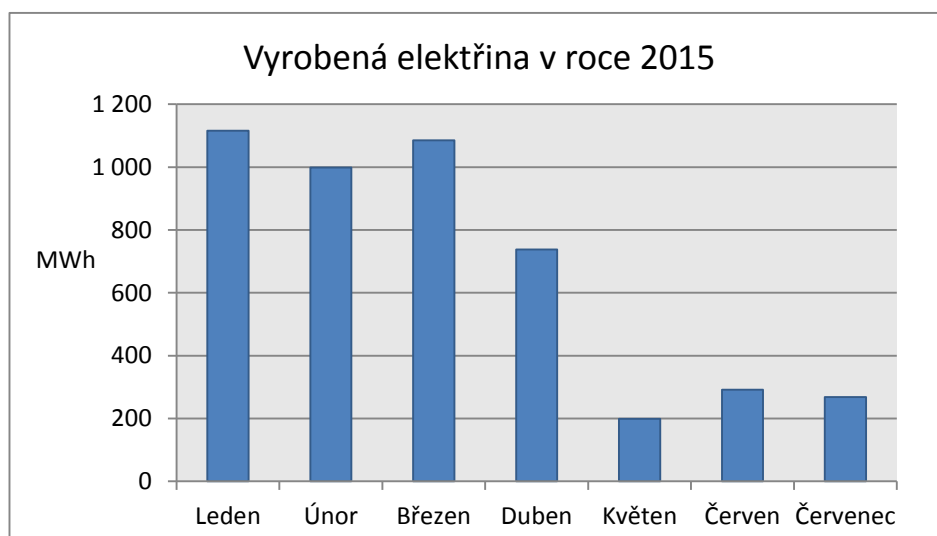
V provozu teplárny mají prioritní využití oba kotle spalující biomasu, avšak maximální roční využití se předpokládá u termoolejového kotle, který je zdrojem tepla pro jednotku ORC [45].

Tab. 5.2 Technické parametry Teplárny Trhové Sviný [45]

TECHNICKÉ PARAMETRY		
Palivo		dřevní štěpka
Tepelný výkon kotle		3,5 MW <sub>t</sub>
Výkon jednotky ORC	tepelný	2,8 MW <sub>t</sub>
	elektrický	0,6 MW <sub>e</sub>
Účinnost zařízení při jmenovitém výkonu	tepelná	80%
	elektrická	17,10%
Roční využití jednotky ORC		7 000 h/rok
Dodávka tepla z biomasy		8 400 MWh/rok
Dodávka elektřiny z biomasy		4 200 MWh/rok

### Teplárna Žatec

Žatecká teplárenská, a.s. byla zrekonstruována v roce 2009. Pro spalování biomasy se využívá kotel Kolbach s výkonem 11,5 MW s následným využitím ORC cyklu disponujícím výkonem 1,5 MW. Biomasa je skladována po dobu 5 dnů. Ročně se spotřebuje 30 000 t biomasy [46],



Obr. 5.5 Vyrobená elektřina na generátoru v roce 2015 [46]

## 5.3 Bioplynové stanice

V České republice mají bioplynové stanice (BPS) hojné zastoupení. Počet stanic k 31. 12. 2015 činí 507. Z toho jsou na našem území nejčastěji provozovány zemědělské BPS [47]. Pro výrobu elektrické energie z bioplynu je využíváno kogeneračních jednotek na bázi plynových motorů.

Bioplynové stanice (BPS) lze rozdělit do tří skupin [38]:

- zemědělské BPS
- průmyslové BPS
- komunální BPS.

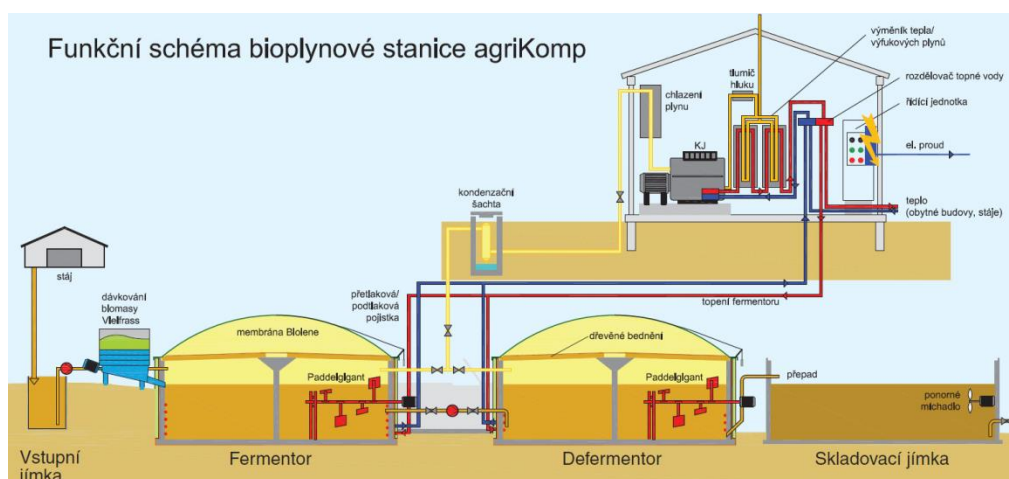
### 5.3.1 Zemědělské BPS

Zemědělské bioplynové stanice zpracovávají zejména statková hnojiva (keřda, hnůj) a cíleně pěstované energetické rostliny (kukuřice, cukrová řepa, luční tráva). Produkty zemědělských BPS jsou kvalitní organická hnojiva a bioplyn pro výrobu tepelné a elektrické energie. Výstavba stanic je obvykle realizována v blízkosti zemědělských provozů [48].

#### *Bioplynová stanice Bořetice*

BPS Bořetice byla uvedena do provozu v roce 2011. Slouží ke zpracování druhotných produktů živočišné výroby. Denně je zpracováno 5 t prasečí kejdy, 6,85 t drůbežního trusu, 26,36 t kukuřičné siláže a 3 m<sup>3</sup> vody [49].

Dvoustupňová anaerobní fermentace trvá 105 dní, kdy je biomasa ve fermentoru zadržena 48 dní a v dofermentoru 57 dní. Ročně je vyprodukováno 11 735 t digestátu. Při nepřetržitém provozu stanice je za rok vyrobeno 2 500 000 m<sup>3</sup> bioplynu [49].



Obr. 5.6 Schéma bioplynové stanice Bořetice společnosti agriKomp [49]

Pro výrobu energie jsou využívány tři kogenerační jednotky firmy Schnell se vznětovým motorem. Při spálení bioplynu vzniká 5 900 000 kWh elektrické energie za rok, která je prodávána do rozvodné sítě. Při produkci elektřiny dochází k významnému vzniku tepla, které je využíváno především pro vlastní provoz bioplynové stanice. Konkrétně k vytápění fermentoru a dofermentoru, při kterém se spotřebuje 10 až 30 % tepla. Část je použita i pro vytápění objektů mimo BPS. Množství vyprodukovaného tepla za rok činí 5 500 000 kWh [49].

Tab. 5.3 Technické parametry BPS Bořetice [50]

TECHNICKÉ PARAMETRY	
Instalovaný elektrický výkon	750 kW
Instalovaný tepelný výkon	696 kW
Pracovní objem fermentoru	1 970 m <sup>3</sup>
Pracovní objem dofermentoru	2 340 m <sup>3</sup>

**Bioplynová stanice Třeboň**

V sedmdesátých letech byla v Třeboni vybudována čistírna odpadních vod, již v té době vznikl společný provoz pro anaerobní stabilizaci čistírenských kalů a kejdy z blízkého velkokapacitního chovu prasat. Toto zařízení se postupem času začalo považovat spíše za zemědělskou bioplynovou stanici. Lze tedy hovořit o první BPS v zemi [51].

Nová BPS v Třeboni je uvedena do provozu od listopadu 2009 a je unikátní svým koncepčním řešením. Od klasických stanic se liší tím, že odděluje výrobu bioplynu od jeho faktického využití, čímž je docíleno vyšší energetické využitelnosti získávaného bioplynu. Projekt je rozdělen na tři samostatné stavby – vlastní výrobu bioplynu, plynovod a bioteplárnu s kogenerační jednotkou se spalovacím motorem [51].

Výrobní obsahuje tři fermentory, malou kogenerační jednotku o výkonu 175 kW<sub>e</sub> a 226 kW<sub>t</sub> pro pokrytí vlastních potřeb, zařízení pro úpravu vlhkosti a tlaku plynu a skladovací prostory pro vstupní surovinu.

Výrobní je propojena s bioteplárnou plynovodem dlouhým více než 4 kilometry. Tím je do bioteplárny transportováno více než 80 % bioplynu. Kogenerační jednotka vyrábějící elektřinu a teplo má elektrický výkon 84 kW<sub>e</sub> a tepelný výkon 840 kW<sub>t</sub>. Vyprodukovaná elektřina je dodávána do distribuční sítě, teplo slouží k vytápění lázeňského areálu [51].

Tab. 5.4 Technické parametry BPS Třeboň [51]

TECHNICKÉ PARAMETRY		
Instalovaný výkon	elektrický	1 019 kW <sub>e</sub> (175 + 844)
	tepelný	1 066 kW <sub>t</sub> (226 + 840)
Objem fermentorů	celkem	6 645 m <sup>3</sup>
	reakční	5 885 m <sup>3</sup>
Produkce elektřiny	brutto	8 - 8,8 GWh/rok
	netto	7,1 - 7,3 GWh/rok
Produkce tepla	brutto	8,5 - 8,8 GWh/rok
	efektivně využito	4,2 - 5,5 GWh/rok
Vstupní suroviny		kukuřičná siláž (15,5 tis. tun/rok) travní senáž (4,3 tis. tun/rok) prasečí kejda (3 tis. tun/rok)

**5.3.2 Průmyslové BPS**

V průmyslových bioplynových stanicích se zpracovávají průmyslové odpady. Klade se větší důraz na splnění všech provozních podmínek, zejména hygienických, neboť se v nich zpracovávají rizikové odpady (jateční odpady, kaly z různých provozů, kaly z čistíren odpadních vod - ČOV, odpady z potravinářského průmyslu) [52]. Odpady mohou obsahovat choroboplodné zárodky, proto je nutné podstoupit několik procesů k jejich odstranění. Před fermentací podléhají vstupní suroviny homogenizaci a hygienizaci [53]. Výhodou průmyslových odpadů je jejich nulový obsah příměsí, kvalita a stálý přísun. [54]



**Bioplynová stanice Soběslav – Chlebov**

Bioplynová stanice byla uvedena do provozu v listopadu roku 2011. Využívá procesu mokré fermentace. Obsahuje dva fermentory o objemu 3 052 m<sup>3</sup>, pro výrobu elektřiny a tepla jsou použity kogenerační jednotky. Vstupní surovinou je kukuřičná senáž, travní senáž a kejda [55] [56].

Tab. 5.5 Technické parametry BPS Soběslav – Chlebov [55]

TECHNICKÉ PARAMETRY	
Celkový instalovaný elektrický výkon	800 kW
Celkový instalovaný tepelný výkon	760 kW

**Bioplynová stanice INTEGRO a.s. Kladruby**

Licence pro provoz byla bioplynové stanici udělena roku 2006. Instalovaný elektrická výkon činí 310 kW. BPS zpracovává kaly z ČOV a likviduje kejdu z objektů živočišné výroby ZD Kladruby a výkrmny prasat Integra Nevid. Živočišná výroba byla však omezena, zpracování kejdy se tedy ustálilo na 80 m<sup>3</sup> / den [57].

**5.3.3 Komunální BPS**

Pro výrobu bioplynu z komunálního odpadu se využívají komunální bioplynové stanice. Komunálním odpadem se rozumí odpad z údržby zeleně, bioodpady z domácností a stravovacích provozů [52]. Tyto odpady však často obsahují nežádoucí příměsi, například obaly a nečistoty vzniklé špatným tříděním. K odstranění slouží třídící a drtící technika. Komunální BPS jsou také vybaveny hygienizačním zařízením [54]. Problémem zpracovávaných surovin je zápach, proto se pro uskladnění používají uzavíratelné haly s odtahem a čištěním vzduchu [52].

**Bioplynová stanice Svojsín**

Bioplynová stanice byla uvedena do provozu roku 2007. Vstupními surovinami pro výrobu bioplynu jsou biologicky rozložitelné produkty a materiály z kaflerní a zemědělské výroby. Bioplyn je spalován ve dvou kogeneračních jednotkách s plynovým motorem Jenbacher. Vyprodukovaná elektrická energie je vyvedena do veřejné sítě rozvodných závodů, teplo slouží pro ohřev fermentorů, pro sušení dříví a pro vytápění budovy. Část tepla je využito k vytápění objektů v obci Svojsín [58].

Tab. 5.6 Technické parametry BPS Svojsín [58]

TECHNICKÉ PARAMETRY	
Instalovaný elektrický výkon	1 052 kW
Využití tepla	1 000 kW

**Bioplynová stanice Úpice**

Bioplynová stanice je umístěna v areálu ČOV Úpice a provozována od roku 2008. Má kapacitu 6 410 t bioodpadů za rok. Zpracovává naředené kaly z ČOV, kuchyňské odpady, odpady z pekáren, hnůj a zelené odpady (tráva, seno, zvadlé květiny, kořeny). Za rok se v BPS vyrobí 500 000 m<sup>3</sup> bioplynu a 780 000 kW elektrické energie, která je využita na provoz stanice a čistírny odpadních vod, přebytek se prodává. Zbytkovým

---

produktem je odvodněný substrát. Te má využití jako organické hnojivo, případně jako jedna ze základních surovin při výrobě kompostu [59].

## ZÁVĚR

Biomasa představuje energetický zdroj s velkým potenciálem. Její výskyt a zpracování lze pozorovat již v dávné minulosti, kdy byla spalována ve formě dřeva pro vznik tepla a světla. Díky pokročilým technologiím je v současnosti její pole využití mnohem širší.

Biomasa je klasifikována svými vlastnostmi, které ovlivňují nejen způsob zpracování, ale i její energetický potenciál a následné využití. Nejvíce určující je vlhkost, ta ovlivňuje další důležitou vlastnost, a to výhřevnost. Míra vlhkosti vymezuje technologie zpracování na dva hlavní procesy – mokré a suché.

Pro efektivní využití a zpracování biomasy je třeba zvolit co nejvhodnější technologii. Nejjednodušším a v českých teplárenských provozech nejvyužívanějším procesem je samotné spalování, případně spoluspalování s hnědým uhlím. Jedná se o suchý proces s následnou výrobou tepelné a elektrické energie. Z mokrých procesů je pak nejhojněji zastoupena anaerobní fermentace neboli metanové kvašení, kdy vzniká bioplyn. Této poměrně složité a náročné metody využívají bioplynové stanice, jejichž počet v České republice stále narůstá. Nejvíce je zemědělských bioplynových stanic, které zpracovávají biomasu vypěstovanou nejčastěji v místě bioplynové stanice. Existují i bioplynové stanice komunální a průmyslové zpracovávající odpady. Což je přínosné, jelikož je využita biomasa, která vznikla jako druhotný produkt výroby.

Jednotlivé technologie, které jsou v práci popsány, umožňují získání produktů hlavních a vedlejších. Vedlejší produkty mohou sloužit například jako hnojivo, hlavní produkty mají své uplatnění při výrobě paliv pro pohon dopravních prostředků, elektrické a tepelné energie.

Technologie se stále vyvíjí a zdokonalují, a tak lze při zpracování biomasy dosáhnout mnohem vyšších účinností. Těch je možné docílit i využitím kombinované výroby elektřiny a tepla, která se upřednostňuje před neefektivní a nákladnou výrobou samostatné elektrické energie. Vyprodukovaná elektřina je distribuována do sítě, teplo obvykle slouží k vytápění domácností nebo v případě bioplynových stanic k vytápění fermentorů.

V České republice lze během posledních deseti let pozorovat nárůst množství zpracované biomasy pro výrobu elektřiny. V roce 2014 činil podíl biomasy na hrubé výrobě elektřiny 2,32 %, podíl bioplynu dosahuje vyšší hodnoty 3,00 %. Z obnovitelných zdrojů se biomasa na výrobě elektřiny podílí 21,72 %, bioplyn 28,17 %.

Potenciál biomasy tkví především v náhradě tuhých paliv, jako je uhlí, jehož těžba a zpracování zatěžuje životní prostředí mnohem více než biomasa. Do budoucna však nelze hovořit o úplném nahrazení fosilních paliv biomasou kvůli poměrně nízké účinnosti.

Z finančního hlediska je úprava biomasy a provoz bioplynových stanic poměrně nákladný. Bioplynové stanice jsou částečně dotovány. Nebýt těchto dotací, nebyl by rozvoj tak velký a pro investory by tyto projekty nebyly příliš zajímavé. Finančním hlediskem se ovšem práce nezabývá. Rozbor tohoto aspektu může být zajímavým doplněním práce.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

- [1] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [2] PASTOREK, Zdeněk, Jaroslav KÁRA a Petr JEVIČ. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC Public, 2004. ISBN 80-865-3406-5.
- [3] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla: revue littéraire mensuelle*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.
- [4] MURTINGER, Karel a Jiří BERANOVSKÝ. *Energie z biomasy*. 1. vyd. Brno: ERA, 2006. 21. století. ISBN 80-736-6071-7.
- [5] PETŘÍKOVÁ, Vlasta. Využití biomasy pro energii. In: *Biom* [online]. 2002 [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-biomasy-pro-energie>
- [6] PŘIBYL, Evžen. *Výroba elektrické energie z biomasy* [online]. In: . 2006 [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/07.pdf>
- [7] Energie biomasy. In: *EkoWATT: Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie* [online]. 2007. b.r. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-biomasy>
- [8] JANDAČKA, J. a M. MALCHO. *Biomasa ako zdroj energie*. Žilina: Juraj Štefuň - GEORG, 2007. ISBN 978-80-969161-4-6.
- [9] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Pavel JANÁSEK. *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy: studie v rámci projektu Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1207-X.
- [10] ZÁRYBNICKÁ, Michaela. Biomasa: Obnovitelný zdroj energie. In: *Fakulta strojní Západočeské univerzity v Plzni: Katedra energetických strojů a zařízení* [online]. 2015 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: [https://kke.zcu.cz/about/projekty/enazp/projekty/13\\_Zemedelska-technologie\\_33-34/33\\_IUT/063\\_Biomasa---Obnovitelny-zdroj-energie---Zarybnicka---P1.pdf](https://kke.zcu.cz/about/projekty/enazp/projekty/13_Zemedelska-technologie_33-34/33_IUT/063_Biomasa---Obnovitelny-zdroj-energie---Zarybnicka---P1.pdf)
- [11] MURTINGER, Karel. Dřevo a jeho spalování. In: *Topení dřevem* [online]. 2006 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: <http://www.topenidrevem.cz/index.php?page=clanek&cid=4524cab599676>
- [12] KOPPE, Klaus a Dagmar JUCHELKOVÁ. *Nutzung der Biomasse - Využívání biomasy*. Vyd. 1. Ostrava: Repronis, 2003. ISBN 80-732-9035-9.
- [13] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-730-0118-7.

- [14] KRBEK, Jaroslav, Ladislav OCHRANA a Bohumil POLESNÝ. *Zásobování teplem a kogenerace*. Vyd. 1. Brno: PC-DIR Real, 1999. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1347-6.
- [15] Termomechanika. *Střední průmyslová škola strojírenská* [online]. 2014 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: [http://www.sps-ko.cz/documents/MEC\\_kratochvil/TERMOMECHANIKA\\_INTERNET\\_DOC/26\\_Clausius\\_Rankinuv\\_cyklus.pdf](http://www.sps-ko.cz/documents/MEC_kratochvil/TERMOMECHANIKA_INTERNET_DOC/26_Clausius_Rankinuv_cyklus.pdf)
- [16] BERANOVSKÝ, Jiří. *Kombinovaná výroba elektřiny a tepla*. Praha: EkoWATT, 2005.
- [17] Brayton cycle. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Brayton\\_cycle](https://en.wikipedia.org/wiki/Brayton_cycle)
- [18] ŠOLTÉS, Jozef a Miroslav RANDA. *Výroba elektřiny z biomasy* [online]. In: . 2005 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: [https://www.pslib.cz/pe/skola/studijni\\_materialy/biomasa/sprava\\_biomasa.pdf](https://www.pslib.cz/pe/skola/studijni_materialy/biomasa/sprava_biomasa.pdf)
- [19] TRÁVNÍČEK, Petr a Zbyšek KARAFIÁT. Kogenerace pomocí plynových spalovacích motorů. In: *Biom* [online]. 2009 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kogenerace-pomoci-plynovych-spalovacich-motoru>
- [20] OCHODEK, Tadeáš a Jan NAJSER. *Zplyňování biomasy*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3302-6.
- [21] JANDAČKA, J. a M. MIKULÍK. *Technológie pre zvyšovanie energetického potenciálu biomasy*. Mojš: Jozef Bulejčík, 2007. ISBN 978-80-969595-4-9.
- [22] NOSKIEVIČ, Pavel. *Biomasa a její energetické využití*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. Phare. ISBN 80-707-8367-2.
- [23] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Michal BRANC. *"Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy": studie v rámci projektu "Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy"*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1426-1.
- [24] MALAŤÁK, Jan. Spalování tuhých paliv: Spalovací zařízení. In: *Technika a technologie zpracování odpadů* [online]. b.r. [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: <http://odpady.tf.czu.cz/p/spalpevpal.pdf>
- [25] AHRENFELDT, Jesper a Harrie KNOEF. *Handbook biomass gasification*. Enschede, Netherlands: BTG Biomass Technology Group, 2005. ISBN 978-908-1006-811.
- [26] POHOŘELÝ, M., M. JEREMIÁŠ, S. SKOLIBA et al. *Paliva I: Alotermní fluidní zplyňování biomasy* [online]. In: . 2009 [cit. 2016-03-31]. Dostupné z: <http://paliva.vscht.cz/download.php?id=9>

- [27] POHOŘELÝ, Michael a Michal JEREMIÁŠ. Zplyňování biomasy - možnosti uplatnění. In: *Biom* [online]. 2010 [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovani-biomasy-moznosti-uplatneni>
- [28] FRANTÍK, Jaroslav. *Návrh využití plynu z pyrolýzní jednotky pro výrobu elektrické energie: The design of using gas from a pyrolysis unit for producing electric energy*. 1. vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2015. ISBN 978-80-248-3784-0.
- [29] *Paliva: Technologie pro pyrolýzu paliv a odpadů* [online]. 2012, 4(3) [cit. 2016-04-16]. ISSN 1804-2058. Dostupné z: [www.paliva.vscht.cz](http://www.paliva.vscht.cz)
- [30] ŠOOŠ, Ľubomír, Milan KOLEJÁK a František URBAN. *Biomasa - obnovitelný zdroj energie*. 1. vyd. Bratislava: VERT, 2012. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-970957-3-4.
- [31] KOUKIOS, E. G. Biomasa. In: *Výzkumné energetické centrum* [online]. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2000 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://vec.vsb.cz/cs/doc/biomasa.pdf>
- [32] *Průvodce výrobou a využitím bioplynu*. 3. vyd. Praha: CZ Biom, 2010. ISBN 978-80-903777-5-2.
- [33] ALTMANN, Vlastimil, Petr VACULÍK a Miroslav MIMRA. *Technika pro zpracování komunálního odpadu: vědecká monografie*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2010. ISBN 978-80-213-2022-2.
- [34] Tvorba bioplynu. In: *Schaumann* [online]. b.r. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://bioplyn.schaumann.cz/vyroba/vznik-bioplynu/>
- [35] UŠŤAK, Sergej a Jaroslav VÁŇA. *Bioplynová fermentace biomasy a biologicky rozložitelných odpadů*. Vyd. 2. Praha: CZ Biom, 2006. ISBN 80-865-5578-X.
- [36] STRAKA, František a Karel CIAHOTNÝ. *Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]*. 3., zkrác. vyd. Praha: GAS, 2010. ISBN 978-80-7328-235-6.
- [37] Anaerobní technologie. In: *Bioprofit* [online]. 2007 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: [http://www.bioplyn.cz/at\\_popis.htm](http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm)
- [38] VLČEK, Tomáš a Filip ČERNOCH. *Energetický sektor České republiky*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2012. ISBN 978-80-210-5982-5.
- [39] Obnovitelné zdroje energie v roce 2014. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. MPO, ©2005 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://download.mpo.cz/get/54506/62316/647573/priloha001.pdf>
- [40] Roční zpráva o provozu ES ČR. In: *Energetický regulační úřad* [online]. Praha: Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, 2015 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: [www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni\\_zprava\\_provoz\\_ES\\_2014.pdf](http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2014.pdf)
- [41] Elektrárna Hodonín. *Skupina ČEZ* [online]. ČEZ, 2016 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/hodonin.html>

- [42] Zpráva o činnosti. In: *Plzeňská teplárenská* [online]. Plzeň: Plzeňská teplárenská, 2006 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: [http://www.pltep.cz/upload/File/VZ\\_2014/PT-VZ-2014-zprava-o-cinnosti-.pdf](http://www.pltep.cz/upload/File/VZ_2014/PT-VZ-2014-zprava-o-cinnosti-.pdf)
- [43] Zelená energie. *Plzeňská teplárenská* [online]. Plzeň: Plzeňská teplárenská, 2006 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.pltep.cz/index.php?goto=text&sekce=Ar5bXRIQ&tid=V8TSTGNc&lng=cz>
- [44] Schéma nového bloku. *Plzeňská teplárenská* [online]. Plzeň: Plzeňská teplárenská, 2006 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: [http://www.pltep.cz/upload/File/schema-noveho\\_bloku.pdf](http://www.pltep.cz/upload/File/schema-noveho_bloku.pdf)
- [45] KUNC, Jan. *ORC technologie v realizaci (II) - Trhové Sviny, srovnání* [online]. 2005 [cit. 2016-05-07]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2834-orc-technologie-v-realizaci-ii-trhove-sviny-srovnani>
- [46] HLÁVKOVÁ, Alena. *Žatecká teplárenská, a.s.*. In: *Žatecká teplárenská, a.s.* [online]. 2016 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: [http://www.ztas.cz/e\\_download.php?file=data/editor/29cs\\_1.pdf&original=ORC.pdf](http://www.ztas.cz/e_download.php?file=data/editor/29cs_1.pdf&original=ORC.pdf)
- [47] *Česká bioplynová stanice: Národní technologická platforma pro bioplyn* [online]. České Budějovice, © 2013 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/>
- [48] KÁRA, Jaroslav, Zdeněk PASTOREK a Evžen PŘIBYL. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. Vyd. 1. Praha: VÚZT, 2007. ISBN 978-80-86884-28-8.
- [49] Zemědělská bioplynová stanice Bořetice. *Sunfin* [online]. b.r. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: [http://www.sunfin.cz/www/upload/images/pdf-soubory/cz\\_naucna\\_stezka\\_boretice.pdf](http://www.sunfin.cz/www/upload/images/pdf-soubory/cz_naucna_stezka_boretice.pdf)
- [50] Bioplynová stanice Bořetice. *Česká bioplynová stanice: Národní technologická platforma pro bioplyn* [online]. České Budějovice, 2013 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic/177-bioplynova-stanice-boretice.html>
- [51] Energetická efektivnost bioplynových stanic. In: *SEVEN* [online]. SEVEN, 2013 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.svn.cz/assets/files/informacni-materialy/2013/Publikace-energeticka-efektivnost-BPS-kompletni.pdf>
- [52] Bioplynová stanice. In: *Nalezeno.cz* [online]. © 2015 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/bioplynova-stanice.dic>
- [53] Členění bioplynových stanic. In: *Enviton* [online]. © 2008 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/cleneni-bps/>
- [54] ROSENBERG, Tomáš a Tomáš DVOŘÁČEK. *Nastal ten pravý čas pro bioplyn?* [online]. Biom.cz, 2006 [cit. 2016-04-26]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nastal-ten-pravy-cas-pro-bioplyn>

- [55] Bioplynová stanice - REPROGEN. *Česká bioplynová asociace: Národní technologická platforma pro bioplyn* [online]. České Budějovice, 2013 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic/540-bioplynova-stanice-reprogen.html>
- [56] Bioplynová stanice Chlebov. *Reprogen* [online]. b.r. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.reprogen.cz/index.php/zemedelska-vyroba/bioplynova-stanice>
- [57] SOUČKOVÁ, Helena. Využití bioplynu v zemědělství. In: *EFEKT Energie efektivně* [online]. 2008 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/1179.pdf>
- [58] Bioplynová stanice Svojsín. *Biom* [online]. Praha: CZ Biom - České sdružení pro biomasu, 2009 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/produkty-a-sluzby/bioplynove-stanice/bioplynova-stanice-svojsin>
- [59] *Bioplynová fermentační stanice Úpice* [online]. b.r. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.bpsupice.cz/>
- [60] Energetický regulační věstník. In: *Energetický regulační úřad* [online]. Jihlava, 2015 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/1174016/ERV\\_6\\_2015/e64aff61-1df9-485e-b3fe-56bef976440b](https://www.eru.cz/documents/10540/1174016/ERV_6_2015/e64aff61-1df9-485e-b3fe-56bef976440b)
- [61] OP ŽP – 23. výzva, PO 3, SC 3.2 – Zvýšit podíl materiálového a energetického využití odpadů. *Dotační.info* [online]. 2016 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.dotacni.info/op-zp-23-vyzva-po-3-sc-3-2-zvysit-podil-materialoveho-a-energetickeho-vyuziti-odpadu/>



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

Symbol	Veličina	Název
A	[-]	obsah popela
H	[-]	hořlavina
$m_1$	[kg]	hmotnost vzorku surové dřevní hmoty
$m_2$	[kg]	hmotnost vzorku po vysušení
$m_d$	[g]	hmotnost absolutně suchého vzorku paliva
$m_p$	[g]	hmotnost popela
$Q_i$	[MJ·kg <sup>-1</sup> ]	výhřevnost
$Q_s$	[MJ·kg <sup>-1</sup> ]	spalné teplo
w	[%]	energetická vlhkost
$w_d$	[%]	dřevařská vlhkost
Zkratka		Název
aj.		a jiný
BPS		bioplynová stanice
cca		circa
ČOV		čistírna odpadních vod
ČR		Česká republika
EU		Evropská unie
max.		maximum
OPŽP		Operační program Životní prostředí
ORC		organický Rankinův cyklus
tzv.		takzvaný
ZD		zemědělské družstvo